

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНОГО ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА В ПЛАГИННОЙ АРХИТЕКТУРЕ ГИС INTEGRO В КОНТЕКСТЕ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИСТОРИЧЕСКОГО ОПЫТА

Куприянов Иван Станиславович

Ведущий инженер;

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»;

Россия, 105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, 36;

e-mail: child_of_north@mail.ru.

Работа посвящена разработке программного электроразведочного (МТЗ, ЗСБ) комплекса в инструментарии плагинной архитектуры ГИС Integro. Базовым и философским проблемам разработки подобного комплекса, обзору текущих возможностей с оценкой перспектив дальнейшего развития на основе анализа исторического опыта информационного обеспечения данных МОГТ-2D и данных электроразведки методом МТЗ.

Ключевые слова: ГИС, форматы данных, электроразведка, МТЗ, ЗСБ.

Для цитирования:

Куприянов И. С. Обзор и перспективы развития программного электроразведочного комплекса в плагинной архитектуре ГИС INTEGRO // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2024. № 1. С. 30-38. EDN : VSRBWS. URL : <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/605>.

REVIEW AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF SOFTWARE GEOELECTRICAL COMPLEX IN THE PLUG-IN ARCHITECTURE OF GIS INTEGRO IN THE CONTEXT OF THE CURRENT STATE OF DEVELOPMENT OF GEOINFORMATION SYSTEMS AND HISTORICAL EXPERIENCE

Kupriyanov Ivan S.

Lead Engineer;

FSBI "All-Russian Research Geological Petroleum Institute";

36 Entuziastov Highway, Moscow, 105118, Russia;

e-mail: child_of_north@mail.ru.

The work is devoted to the development of a software geoelectrical (MTS, TEM) complex in the tools of the GIS Integro plug-in architecture. Basic and philosophical problems of developing such a complex, a review of current capabilities with an assessment of the prospects for further development based on an analysis of the historical way experience of information support for CDP-2D data and electrical prospecting data using the MT method.

Keywords: GIS, data formats, geoelectrics, MTS, TEM.

For citation:

Kupriyanov I. S. Review and prospects for development of software geoelectrical complex in the plug-in architecture of GIS INTEGRO in the context of the current state of development of geoinformation systems and historical experience. *System analysis in science and education*, 2024;(1):30-38 (in Russ). EDN: VSRBWS. Available from: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/605>.



Статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>

Введение

Разрабатываемый комплекс изначально был поставлен в жёсткие рамки уже имеющегося инструментария разработки, используемых форматов хранения, плагинной архитектуры ГИС *INTEGRO* [6] и специфической системы сборки проекта. Потребовалось гармонично вписать обрабатывающий комплекс в уже имеющуюся ГИС, заточенную под решение геологических задач. Традиционно эта задача решается наоборот – отдельно разработанный обрабатывающий комплекс экспортирует результаты работы, в форматы, поддерживаемые ГИС.

В процессе разработки потребовалось как осмысление минимально необходимого функционала комплекса на пути от исходных форматов к форматам ГИС *INTEGRO*, так и перспектив его развития с возможностью наследовать предыдущие этапы работы. Для этого был необходим выбор уже имеющегося формата данных, либо создание унифицированного фундаментального формата данных по аналогии с сейсморазведочным форматом *SGY*.

Долгое время под термином ГИС подразумевался исключительно картографический продукт. В это же время отраслевые обрабатывающие комплексы начинали обрастать встроенными картографическими возможностями и экспортом данных в ГИС, а в ГИС увеличивались функциональные возможности: импортирование различных форматов данных, создание собственных плагинов. В этом движении навстречу друг другу появились узкоспециализированные ГИС. Любой сейсморазведочный интерпретационный пакет – это ГИС.

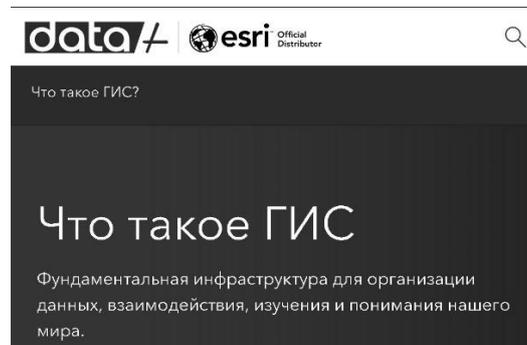


Рис. 1. Определение ГИС с сайта многим известного производителя геоинформационных систем

1. Основные этапы движения геофизических данных

Согласно ГОСТ Р 52438-2005 геоинформационная система (ГИС) – это информационная система, оперирующая пространственными данными [1]. Информационная система – система, предназначенная для хранения, обработки, поиска, распространения, передачи и представления информации. Данные – информация, представленная в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека. За последние пять десятилетий ГИС превратилась из концепции в науку. Феноменальная эволюция ГИС от элементарного инструмента до современной, мощной ИТ-платформы для понимания и планирования нашего мира отмечена несколькими ключевыми вехами [8].

От полевых измерений до «конечной» или итоговой интерпретации можно выделить основные базовые этапы работы с геофизическими данными:

1. Регистрация, систематизация, организация хранения.
2. Анализ зарегистрированных данных.
3. Обработка зарегистрированных данных.
4. Геологическая интерпретация.
5. Анализ результатов, по результатам которого пункты 2-4 могут повториться.

Все вышеперечисленные этапы движения геофизических данных являются шаблоном движения практически для любого метода геофизики. Цель любого геофизического измерения – из измерителя попасть в интерпретационный пакет ГИС. Развитие ГИС, в свою очередь вывело комплексирование геофизических методов на новый уровень. Локомотивом этого движения является производственная нефтегазовая сейсморазведка.

2. Исторические предпосылки

В сейсморазведке два основных формата *SEG-Y(SGY)* и *SEG-D*. В 1930 году, 11 марта, 29 мужчин и 1 женщина встретились в Хьюстоне в университетском клубе, чтобы основать *SEG (Society of Economic Geophysicists)*, сообщество, которое в 1937 году было переименовано в *Society of Exploration Geophysicists*. Миссия организации – объединять вдохновлять и стимулировать учёных геофизиков [3]. В дальнейшем организация росла, развивалась и на сегодня является одним из крупнейших сообществ геофизиков. В 1975 году *SEG Technical Standards Committee* выпустил спецификацию форматов *SEG-Y* и *SEG-D*, которые и определили единые стандарты сейсморазведочных данных на многие годы вперёд. По мере развития технологий и роста потребностей форматы пересматривались несколько раз и формат *SEG-Y* стал использоваться при обработке и интерпретации данных, а формат *SEG-D* для регистрации и хранения. Вовремя собранная конференция, в контексте единообразия геофизических (сейсморазведочных) данных, стала фундаментом успешного структурирования и накопления геофизических данных в будущем, задолго до физического появления крупных и серьёзных цифровых банков данных. Развитие технологий подтолкнуло к модернизации форматов, но производители оборудования и программных комплексов по всему Миру получили шаблон, с которым и вокруг которого пришлось напряжённо работать:

«Ученый-геофизик, который, наконец, присел, чтобы отдохнуть от беготни взад-вперед между десятком разных технических семинаров, проходящих одновременно на расстоянии километра друг от друга, вынул трубку, снова ее спрятал, увидев знак, запрещающий курение, и вздохнул. «Знаете, к тому времени, когда стандарт *SEG* публикуется, он уже практически устаревает. Наша компания осуществляла мониторинг действующих месторождений при помощи сейсмической съемки 9 C, 4 D, активной и пассивной, в течение нескольких лет. Но из-за отсутствия стандарта для форматирования и передачи данных подрядчикам мы тратим непомерно много времени и денег на их соответствующую обработку, чтобы я мог заняться своей исследовательской программой совместного анализа этих данных и данных *CSEM*, полученных в то же время». Разработчик программного обеспечения хмыкнул, сделал еще глоток крепкого кофе латте и вмешался: «Погодите-ка минутку. Нам и в самом деле нужна новая версия стандарта *SEG-D*, модернизированная до того, чтобы в ней была даже кухонная раковина? В нынешнем стандарте уже есть масса проблем, связанных с разночтением, ошибками и противоречивостью данных, а вы хотите еще более усложнить его? Предположим, что каким-то чудом такой «накачанный» *SEG-D* и в самом деле появится до того, как я выйду на пенсию. Тогда весь следующий год мне придется заниматься переписыванием десятков тысяч строк кода на устаревшем Фортране, который создан еще в 70-х для считывания *SEG-D*. И только потому, что теперь появилось больше информации, это не означает, что имеется достаточно места для его переноса в существующие системы обработки и расшифровки сейсмических данных. Добавьте еще два человека-года на доработку. И еще не менее половины моего времени после этого уходит на обслуживание и обновление, чтобы убирать один за другим производственные глюки. После этого я буду рад досрочно уйти на пенсию!» [2].

Несмотря на напряжённость в потребностях на модернизацию формата *SEG-D* из предыдущего абзаца, формат *SGY* до сих пор используется как для регистрации, так и для хранения исходной полевой информации. Все современные сейсморазведочные станции поддерживают регистрацию в оба формата. По состоянию на ноябрь 2023 года *SEG-Y* был серьёзно пересмотрен 2 раза (*SEG-Y Revision 2.1*), *SEG-D* – 3 раза (*SEG-D Revision 3.1*). Обусловлено это тем, что развитие *SEG-D* диктовалось бурным развитием сейсморазведочной аппаратуры и компьютерных технологий, в то время как основные принципы обработки и потребности обработчиков в новых форматах не претерпели больших изменений. Современная структура организации производства, с узкой специализацией, не создали запроса на внедрение большого количества дополнительной информации. Например, информация о количестве накоплений воздействия источниками сейсмических волн. Если сейсмограмма или кореллограмма прошли внутренний контроль качества и приёмку, а одиночные накопления

отдельно не сохранялись, то обработчика очень редко, когда заинтересует этот параметр (в том числе, и заданная оператором станции процедура вертикального суммирования), а до интерпретатора этот параметр вовсе не доходит, исчезая при суммировании трасс ОСТ (ОГТ). Поэтому обработка данных МОГТ чаще всего начинается с конвертации одиночных *SEG-D* (*Y*) файлов в *SEG-Y* формата необходимого обработчику. Обработчик и интерпретатор работают с форматом *SEG-Y*, в котором «лишняя» информация отсекается как на стадии конвертации, так и на стадии обработки.

Таким образом, в сейсморазведке (МОГТ-2D и в дальнейшем 3D) обилие нефтяных денег, количество заинтересованных лиц и всемирная глобализация, обеспечили формирование единых стандартов форматов данных. К сожалению, этого нельзя сказать о других методах геофизики, и электроразведки в частности.

В электроразведке форматы данных зачастую диктовались и диктуются производителями аппаратуры и программного обеспечения. Степень технологического отставания остальных геофизических методов (в нашей стране) хорошо видна по действующим инструкциям по сейсморазведке (1986 г.) [4] и электроразведке (1984г.) [5], где для записи данных МОГТ-2D упоминаются бобины МЛ (магнитных лент) с бумажным паспортом – Приложение 3, а для записи электроразведочных данных только многочисленные разновидности бумажных журналов.

По информации коллег и бывших работников треста «Якутскгеофизика» советские станции писали на бобины в формат *SEG-B* (1967г.), а обработка шла уже в формате *SEG-Y*, что говорит о более успешном следовании общемировым трендам в части поддержки форматов при общем отставании в производстве аппаратуры. Для обработки успешно применялись компьютеры и обрабатывающий комплекс СЦС-3.

Помимо этого, каждый комплект электроразведочной аппаратуры был настолько уникален (не имел аналогов в Мире), что все, что он измерял, могло быть не менее уникально во времени. Был существенный риск на одной точке и при одной методике работ получить разные измерения. В инструкции по электроразведке это нашло отражение в требовании (помимо методического контроля) осуществлять повторные наблюдения на точке с определённым интервалом измерений, с целью убедиться в стабильности работы аппаратуры: поплыл резистор, перегрелась или перегорела лампа, что-то отвалилось и т.д. Качество данных должно было быть обеспечено независимо от качества аппаратуры. Стоит отметить, что для тех времён и условий это было разумно и успешно работало. В настоящее время, практически бесполезные повторные измерения аппаратурного контроля, исполнители государственных контрактов, работающие по инструкции, делают и сейчас, выдавая это за методический контроль, но если потребовать выполнить именно методический контроль, то можно услышать рассказы про «инструкция устарела», «у нас надёжная аппаратура», «нам за это не платят» и т.д.

Итого: в начале 21 века, в нашей стране, при производстве электроразведочных работ зачастую использовались бумажные полевые журналы, а цифровая запись в прибор также дублировалась бумажным носителем, что при уже состоявшемся бурном развитии компьютерных технологий, тормозило развитие электроразведки (рис. 2).



Рис. 2. Слева: автор статьи при поисках коренного рудного золота в горах Южной Якутии с аналоговой аппаратурой "ЭРА-В-ЗНАК" и бумажным полевым журналом (2006 г.). Справа: автор статьи при инженерных исследованиях под строительство трубопровода в Новгородской области с цифровым измерителем «МЭРИ» и бумажным полевым журналом (2007 г.)

Соответственно пару десятилетий основными цифровыми форматами записи полевых данных электроразведки были *.txt, *.xls, *.csv и другие преимущественно текстовые форматы, которые переносились с бумажных журналов. С появлением качественной цифровой электроразведочной аппаратуры форматы регистрации либо изобретались с нуля, либо адаптировались имеющиеся производителями аппаратуры.

2. Сравнительный анализ движения геофизических данных (МОГТ-2D, МТЗ)

Долгое время, в нашей стране, монополистом серийно выпускаемой аппаратуры для метода МТЗ являлся *Phoenix Geophysics*. Форматы файлов, как регистрации, так и обработки были открытыми. Более того для хранения и обработки был выбран международный формат *SEG EDI (Electrical Data Interchange, 1987г.)* [9]. Формат был разработан для хранения МТ (*magnitotelluric*) и *EMAP (electromagnetic array profiling)* данных и был сделан с запасом под расширение, что позволило методу удержаться от избыточного разнообразия форматов.

Табл. 1. Сопоставление форматов данных МОГТ-2D и МТЗ на этапах движения в процессе производства

№	Этап движения геофизических данных на пути к ГИС	Форматы	
		МОГТ-2D	МТЗ
1	Регистрация, систематизация, организация хранения.	SEG-D, SEG-Y	Phoenix: комплект файлов (TBL, TS3, TS4, TS5) Nord: nw1 Другие аппаратурные форматы
2	Анализ зарегистрированных данных.	SEG-D, SEG-Y	EDI, MTL, MTH, FTF и др.
3	Обработка зарегистрированных данных.	SEG-Y	EDI
4	Геологическая интерпретация.	SEG-Y	Форматы производителей инверсий, SEG-Y

МОГТ-2D: любая качественная сейсморазведочная станция пишет стандартные форматы. Обработывающие комплексы используют и свои форматы данных, но с поддержкой экспорта в *sgy* на любом результирующем этапе обработки. Временные разрезы в формате *SGY* загружаются в специально разработанные для интерпретации ГИС, часто называемые интерпретационными пакетами, интерпретационными модулями или программными комплексами. Картографические возможности в таких ГИС лишь небольшая часть функционала.

МТЗ: Каждый производитель аппаратуры изобретает свой формат. Кто-то даёт описание, кто-то нет. Тот же *nw1* - это закрытый формат, как и некоторые другие форматы электроразведочных данных. Специальных ГИС для интерпретации данных электроразведки видимо никогда и не было (мнение автора). Есть программы инверсии и подбора модели, в которых реализованы зачаточные картографические возможности, загрузка или даже учёт данных скважин с возможностью экспорта в табличный формат типа *. *GRID*. Поэтому для интерпретации *1D, 2D* геоэлектрических моделей их часто конвертируют в *SGY* и заводят в сейсморазведочный интерпретационный пакет. Также многие ГИС имеют *API* интерфейсы для создания плагинов, через которые заводят данные для интерпретации.

Стоит отметить, что отставание электроразведки от сейсморазведки было и в Америке. Это видно, как по датам публикации спецификации форматов *SGY* (1975), *EDI* (1987), так и по структуре файловых форматов: двоичный, заточенный под многоканальную регистрацию, а также большие

объёмы данных *SGY* и текстовый *EDI*. Формат *EDI* сейчас активно используется (рис. 3), в том числе при производстве региональных геофизических работ при оценке перспектив на нефть и газ. Накоплен приличный объём данных, появилась новая аппаратура, программное обеспечение и, несмотря на растущие потребности и появление новых форматов, данных [7], формат *EDI* лет 5, а то и 10 будет ещё актуален.

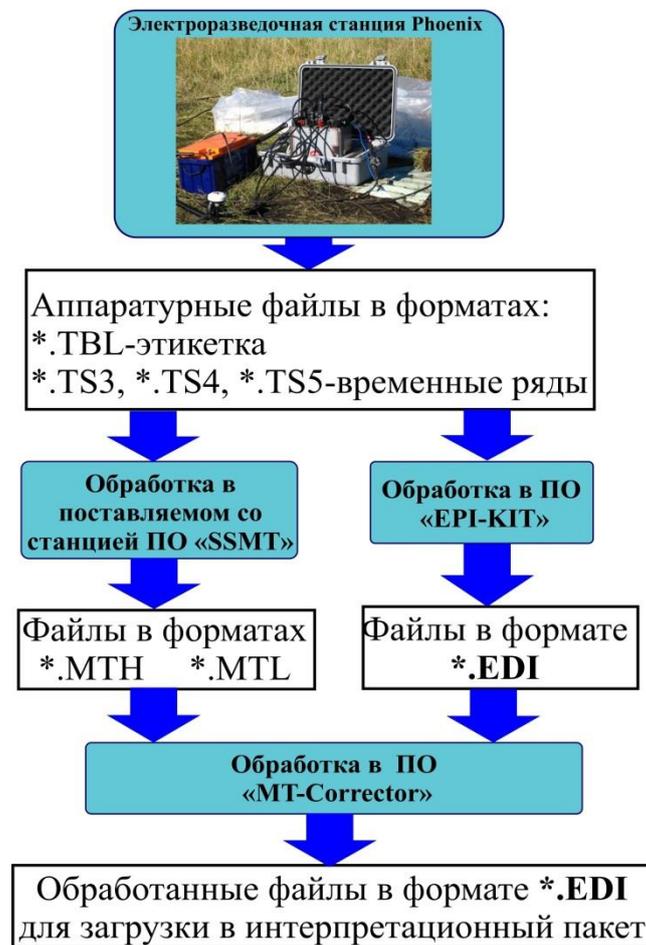


Рис. 3. Блок-схема движения данных *MT3* в типичном производственном процессе

Специфика формата такова, что он используется как в полевой, так и в камеральной обработке. Существует приличное количество вариаций ("*SEG 1.0*", "*4.3*", "*SEG 1.01*" и т.д.), в то время как на сайте *SEG* только один - «*1.0*». Так как разработка происходит в плагиновой архитектуре ГИС *INTEGRO*, то в упрощённом смысле задачу разработки и функционала комплекса можно сформулировать как «создание утилиты, обеспечивающей кратчайший путь от форматов исходных данных к форматам данных ГИС». В качестве входящих данных *EDI*, а итоговые данные – это форматы ГИС *INTEGRO* (*PGRID*, *_SN*).

3. Обзор функционала электроразведочного модуля ГИС *INTEGRO*

В рамках поставленной задачи и имеющего инструментария, этапы движения электроразведочных данных, в контексте метода магнитотеллурических зондирований, превратились в функционал комплекса, который был реализован следующим образом:

1. Вынесение на карты изучаемых площадей массива точек зондирования и формирование профильных ансамблей (наборов файлов *EDI*) по имеющейся совокупности *MT* данных.
2. Визуализация кривых кажущегося сопротивления и фазы импеданса для точек зондирования.

3. Предварительная обработка профильных данных. Построение псевдоразрезов кажущихся сопротивлений и фаз.
4. Амплитудная нормализация профильных массивов МТ данных
5. Построение глубинных разрезов УЭС (одномерная инверсия профильных МТ данных)
6. Построение пластово-градиентных моделей УЭС (ПГРоМ) в каркасе сейсмических отражающих горизонтов, карт и графиков средних значений пластовых УЭС для целевых нефтегазовых комплексов; изучение корреляций параметров ПГРоМ и ПГСМ.
7. Импорт результатов 1D инверсии данных ЗСБ в формате AVR. Поддержка формата для метода ЗСБ была реализована отдельной утилитой рамках производственной задачи и в план разработки не входила.

Комплекс реализован в виде утилиты вызываемой из общего списка утилит ГИС *INTEGRO*. Каждая вкладка утилиты по своей сути является отдельной утилитой и порядок вкладок располагается в соответствии с ранее озвученным вектором движения МТ данных.

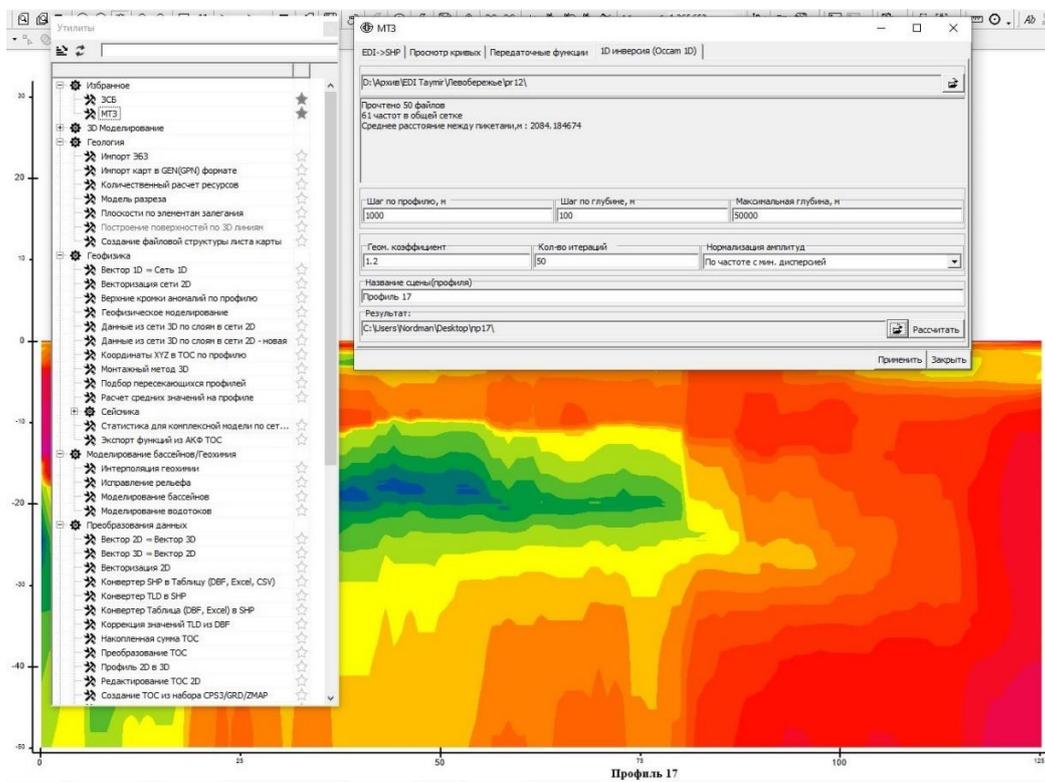


Рис. 4. Интерфейс окна утилиты «МТЗ» на фоне результата 1D инверсии вызванного из окна общего списка утилит (слева)

4. Перспективы развития электроразведочного модуля ГИС *INTEGRO*

Озвученный выше функционал комплекса, в текущей реализации, способен удовлетворить минимальные потребности в работе с данными МТЗ. Для более углубленной работы, комплекс необходимо развивать в следующих направлениях:

1. Расширения спектра поддерживаемых форматов входных данных, в особенности результатов инверсии.
2. Картографического модуля в сторону уменьшения количества действий пользователя.
3. Развитие модуля обработки, инвариантный анализ тензора импеданса.

4. Разработка алгоритмов нормализации кривых для более сложных геологических условий.
5. Разработка или интеграция имеющихся алгоритмов 2D инверсии.
6. Комплексирование данных МТЗ и ЗСБ.

Преимущества разработки связаны как с особенностями построения плагинной архитектуры ГИС [6], так и с синергетическими эффектами от совмещения мощностей ГИС с модулями комплекса. Плагинная архитектура имеет следующие свойства:

1. Переносимость, то есть позволяет использовать один исходный код на разных платформах.
2. Не привязана к поставщику, то есть позволяет использовать инструменты разных разработчиков.
3. «Скромна», то есть не требует, чтобы приложение было основано на ней, а может встраиваться в имеющееся приложение.
4. Неинвазивна, то есть может быть применена к объектам без изменения их кода: свойства используемого интерфейсного адаптера таковы, что он может быть создан для любого объекта, имеющего адрес в памяти.
5. Объектно-ориентирована, то есть поддерживает принципы абстракции, инкапсуляции и полиморфизма, и использует соответствующие возможности языка программирования.
6. Эффективна, поскольку вводит минимум накладных расходов, связанных с вызовом методов, и не навязывает затратные модели управления временем жизни объектов.
7. Масштабируема в использовании, так как позволяет подключать новые модули, создавать в них точки расширения и к ним также подключать новые модули.
8. Масштабируема в разработке, то есть позволяет дополнительно привлекать разработчиков как для создания плагинов, так и для разработки интерфейсов.
9. Сопровождается: есть возможность независимо модифицировать основное приложение, плагины и двоичный интерфейс между ними.

Из синергетических эффектов можно выделить следующие:

1. Отсутствие проблем с перепроецированием различных форматов координат и пространственной привязкой данных.
2. Большой набор и функциональные возможности инструментов для работы с геоданными.
3. Широкие возможности блока статистического анализа.

Из недостатков можно отметить следующее:

1. Ограниченность в инструментарии, что является следствием одного из плюсов. Инструментарий принадлежит внутреннему фреймворку. Это обеспечивает независимость и поддерживает цифровой суверенитет страны, что сейчас немаловажно, но и выбирать инструмент приходится из того, что в нём есть.
2. Сложность разработки. Часть кода написана в устаревших инструментах (*Borland*), что требует, как большего времени при поиске ошибок под отладчиком, так и больших усилий для осмысления написанного ранее кода.

Заключение

Разработка обрабатывающего электроразведочного комплекса в плагинной архитектуре ГИС *INTEGRO* в целом весьма перспективное направление, так как позволяет воспользоваться уже имею-

щимися инструментами сбора, хранения, анализа, обработки и интерпретации, а также создаёт дополнительный запрос на развитие отдельных инструментов самой ГИС.

Список источников

1. ГОСТ Р 52438 -2005. Географические информационные системы. Термины и определения : дата введения – 01.07.2006 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.
2. Новые стандарты: SEG-D 3.0 и комиссия SEG по техническим стандартам / Д. Льюис, С. А. Левин, Р. Хагелунд, Б.Д. Баррс // ROGTEC : Российские нефтегазовые технологии. – [2014], № 20. – С. 32-36.
3. A Brief History // SEG : [Society of Exploration Geophysicists]. – Society of Exploration Geophysicists, 1996-2024. – URL: <https://seg.org/about-seg/a-brief-history/>.
4. Инструкция по сейсморазведке / Минтстерство геологии СССР. - Москва : Б. и., 1986. – 79 с.
5. Инструкция по электроразведке : Утверждена Министерством геологии СССР 24.12.81. Ленинград: Недра, Ленинградское отделение, 1984.
6. Шумихин А. С. Особенности архитектуры ГИС INTEGRO // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 68-75. – EDN : UZKLAC.
7. Kelbert A. EMTF XML: New data interchange format and conversion tools for electromagnetic transfer functions // Geophysics. – 2019. – Vol. 85, Iss. 1. – Pp. F1–F17. – DOI: <https://doi.org/10.1190/geo2018-0679.1>.
8. История ГИС // Геоинформационные системы : [сайт]. – URL. <https://www.esri-cis.com/ru-ru/what-is-gis/history-of-gis>.
9. Wight D. E. SEG Standart for MT and EMAP Data // SEG TECHNICAL PROGRAM EXPANDED ABSTRACTS 1988. – 1988. – Pp. 249–251. – DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1892244>.