

УДК 512.6, 517.9, 519.6, 550.372

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС INTEGRО ПРИ КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ**Спиридонов Виктор Альбертович¹, Соколова Елена Юрьевна²,
Валеев Николай Николаевич³, Спиридонов Иван Викторович⁴**¹*Заведующий сектором;**ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»;
Россия, 105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, 36;
e-mail: v.spiridonov@geosys.ru.*²*Ведущий научный сотрудник;**ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»;
Россия, 105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, 36;
Ведущий научный сотрудник;
ФГБУН Институт физики Земли РАН им. О.Ю. Шмидта;
Россия, 123242, Москва, Большая Грузинская ул., 10, стр. 1;
e-mail: sokolova.e@vniigni.ru.*³*Инженер;**ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»;
Россия, 105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, 36;
e-mail: nn.valeev@mail.ru.*⁴*Научный сотрудник;**ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»;
Россия, 105118, Москва, Шоссе Энтузиастов, 36;
e-mail: i.spiridonov@geosys.ru.*

На примере материалов комплексных геофизических исследований зоны сочленения Байкитской антеклизы и Курейской синеклизы продемонстрирована методика и технологические приемы оценивания коллекторских свойств осадочных формаций чехла Сибирской платформы с помощью ГИС INTEGRО. Представленный граф включает анализ данных потенциальных полей с районированием по критериям близости к объекту с «идеальными» коллекторскими свойствами и процедуры выделения в разрезах удельных электрических сопротивлений зон повышенной проводимости, перспективных для поиска углеводородных ловушек. По результатам комплексного анализа, проведенного с опорой на геологические сведения, сейсмические и скважинные материалы, а также сведения по физическим свойствам пород, для наиболее перспективных нефтегазовых комплексов области исследования построены карты распределения объектов с улучшенными коллекторскими свойствами.

Ключевые слова: потенциальные геофизические поля, магнитотеллурические зондирования, нефтегазовый поиск, Байкитская антеклиза, Курейская синеклиза, коллекторские свойства осадочных пород, процедуры статистического анализа данных геофизического комплекса, геоинформационная система

Для цитирования:

Применение ГИС INTEGRО при комплексном анализе геофизических данных для оценки коллекторских свойств осадочных формаций / В. А. Спиридонов, Е. Ю. Соколова, Н. Н. Валеев, И. В. Спиридонов // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. 2024. №1. С. 50-64. EDN : NWWPJZ. URL : <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/607>.



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>

THE USE OF INTEGRO GIS IN THE COMPLEX ANALYSIS OF GEOPHYSICAL DATA TO ASSESS THE RESERVOIR PROPERTIES OF SEDIMENTARY FORMATIONS

Spiridonov Viktor A.¹, Sokolova Elena Yu.²,
Valeev Nikolay N.³, Spiridoniv Ivan V.⁴

¹Head of the sector;

FSBI "All-Russian Research Geological Petroleum Institute";
36 Entuziastov Highway, Moscow, 105118, Russia;
e-mail: v.spiridonov@geosys.ru.

²Leading Researcher;

FSBI "All-Russian Research Geological Petroleum Institute";
36 Entuziastov Highway, Moscow, 105118, Russia;
Leading Researcher;
Place of Employment; Schmidt's Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences;
10 Bolshaya Gruzinskaya str., building 1, Moscow, 123242, Russia;
e-mail: sokolova.e@vniigni.ru.

³Engineer;

FSBI "All-Russian Research Geological Petroleum Institute";
36 Entuziastov Highway, Moscow, 105118, Russia;
e-mail: nn.valeev@mail.ru.

⁴Research Associate;

FSBI "All-Russian Research Geological Petroleum Institute";
36 Entuziastov Highway, Moscow, 105118, Russia;
e-mail: i.spiridonov@geosys.ru.

Using the materials of complex geophysical studies of the junction zone of the Bay-Kit antecline and the Kurey syncline as an example, the methodology and technological techniques for assessing the reservoir properties of sedimentary formations of the cover of the Siberian platform using GIS INTEGRO are demonstrated. The presented graph includes an analysis of data from potential fields with zoning according to the criteria of proximity to an object with "ideal" reservoir properties and procedures for identifying high-conductivity zones in sections of specific electrical resistances that are promising for the search for hydrocarbon traps. Based on the results of a comprehensive analysis conducted based on geological information, seismic and borehole materials, as well as information on the physical properties of rocks, maps of the distribution of objects with improved reservoir properties were built for the most promising oil and gas complexes in the research area.

Keywords: potential geophysical fields, magnetotelluric sounding, oil and gas prospecting, Baikitskaya antecline, Kureyskaya syncline, reservoir properties of sedimentary rocks, procedures for statistical analysis of geophysical complex data, geoinformation system.

For citation:

Spiridonov V. A., Sokolova E. Yu., Valeev N. N., Spiridoniv I. V. The use of INTEGRO GIS in the complex analysis of geophysical data to assess the reservoir properties of sedimentary formations. *System analysis in science and education*, 2024;(1):50-64 (in Russ). EDN: NWWPJZ. Available from: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/607>.

Введение

Анализ данных современного геофизического комплекса нефтегазопроисковых работ требует применения высокоразрешающих методов количественной интерпретации (решения обратных задач для различных геофизических полей), а также многообразных статистических процедур поиска закономерностей распределения получаемых наборов физических свойств геологических объектов и содержательных корреляционных зависимостей между ними. Для эффективного проведения комплексной интерпретации все используемые материалы должны быть наглядно проиллюстрированы,

пространственно совмещены и сопоставлены как между собой, так и с разнообразной геологической информацией (геолого-тектоническими картами, разрезами и др.). Эти возможности предоставляет новое поколение ГИС систем, ориентированных на работу с геолого-геофизической информацией, к которым относится и использованная в нашем исследовании наиболее продвинутая отечественная разработка – комплекс ГИС *INTEGRO* [Черемисина и др., 2021].

Система *INTEGRO* позволяет работать с различными вариантами картографической информации (векторные и растровые карты, гриды), а также с геофизическими и скважинными данными (2D и 3D физико-геологические модели, стратиграфические колонки и каротажные кривые), совокупность которых интегрируется в геоинформационный проект и визуализируется в составе трехмерных сцен.

Кроме возможностей отображения геолого-геофизических данных ГИС *INTEGRO* включает мощный аппарат обработки данных потенциальных полей и трехмерных воксельных моделей избыточной плотности, намагниченности, электропроводности. В систему включены возможности решения прямых задач грави- и магниторазведки в 2D постановке, а также процедуры решения 3D прямых и обратных задач потенциальных полей, основанные на быстром дискретном преобразовании Фурье и позволяющие получать объемные распределения избыточных плотности и намагниченности в соответствующих размерных единицах. Реализован подбор параметров базовой градиентно-слоистой 3D модели (ГСЗD) по региональным потенциальным полям [Большаков и др., 2022, 2023].

В системе имеется блок анализа электроразведочных данных, в котором возможно построение геоэлектрических разрезов по результатам 1D инверсии профильных МТЗ и получение статистических характеристик распределений УЭС в них [Куприянов, Соколова, 2024].

Блок статистического анализа разнородной геолого-геофизической информации составляют процедуры построения регрессионных зависимостей и классификации в многомерном пространстве признаков (например, районирование по уровню потенциальных полей с помощью иерархической структурной классификации), а также критериальной таксономии (районирования территории по набору критериев близости с «идеальным» образом искомым объектов).

Фокусом настоящей статьи является демонстрация методов и технологических приемов комплекса ГИС *INTEGRO*, применяемых для оценки коллекторских свойств осадочных формаций чехла Сибирской платформы. Анализируются материалы проекта геологоразведочных работ в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Курейской синеклизы (Байкитская площадь). Представленный граф включает анализ данных потенциальных полей с районированием по критериям близости к объекту с «идеальными» коллекторскими свойствами, а также процедуры выделения в разрезах удельных электрических сопротивлений зон повышенной проводимости, перспективных для поиска коллекторов и углеводородных ловушек. По результатам комплексного анализа, проведенного с опорой на геологические сведения, сейсмические и скважинные материалы, а также сведения по физическим свойствам породных комплексов, для наиболее перспективных нефтегазовых комплексов области исследования построены карты распределения объектов с улучшенными коллекторскими свойствами.

1. Геотектоническая обстановка и основные объекты нефтегазового поиска

Изучаемая территория находится на юго-западе Сибирской платформы в междуречье Подкаменной и Нижней Тунгусок, в зоне сочленения СЗ склона Байкитской антеклизы и ЮЗ борта Курейской синеклизы в пределах Южно-Тунгусской и частично Байкитской НГО (в составе Лено-Тунгусской НГ провинции) (рис. 1). В ее пределах как наиболее крупные выделяются тектонические структуры Бахтинового мегавыступа, а также – ряд структурных мысов и поднятий второго и более мелких порядков (рис. 2).

Для изучения геологического строения и перспектив нефтегазоносности этих областей, соседствующих с крупными нефтегазовыми объектами Байкитской антеклизы (Юрубчено-Тохомским, Курумбинским и др. месторождениями), геофизические работы проводятся еще с 60-70х годов XX в. (гравимагнитные съемки, ГСЗ, сейсмическое профилирование МОГТ, МТЗ и ЗСБ и др.). В разрезе выделены комплексы архей-протерозойского фундамента, карбонатно-терригенный рифей-вендский, карбонатно-солевой венд-средне-палеозойский и, в основном, терригенный верхне-палеозойский надсолевой комплексы. В отношении поиска углеводородов территория все еще считается малоизу-

ченной и в настоящее время служит полигоном проведения современных комплексных геофизических исследований. Целевыми объектами являются трещиноватые и кавернозно-трещиноватые карбонатные/терригенно-карбонатные отложения кембрия, венда и рифея, а также характеризующиеся наибольшей пористостью терригенные отложения венда. На ряде месторождений из этих нефтегазовых породных комплексов (НГК) получены значительные притоки. Локальными и зональными флюидоупорами для вендских коллекторов служат толщи галогенно-карбонатного комплекса, а для трещиноватых карбонатов – более массивные карбонатные (доломиты) или галогенные (ангидриты) отложения, а также глинисто-карбонатные венд-кембрийские толщи.

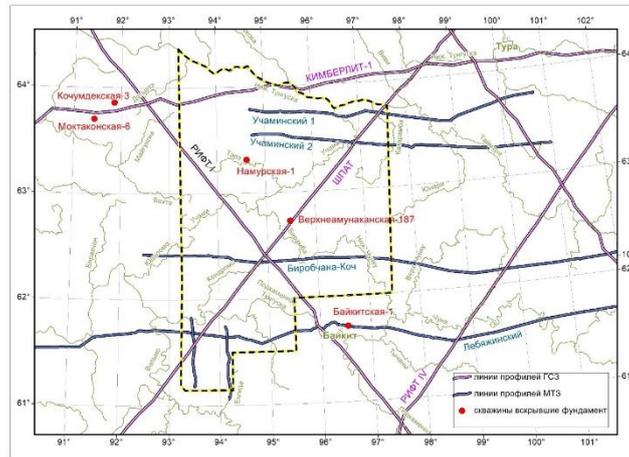


Рис. 1. Изученность ГСЗ, МТЗ и глубокие скважины, вскрывшие кристаллический фундамент в пределах района работ «Байкит» и его обрамления

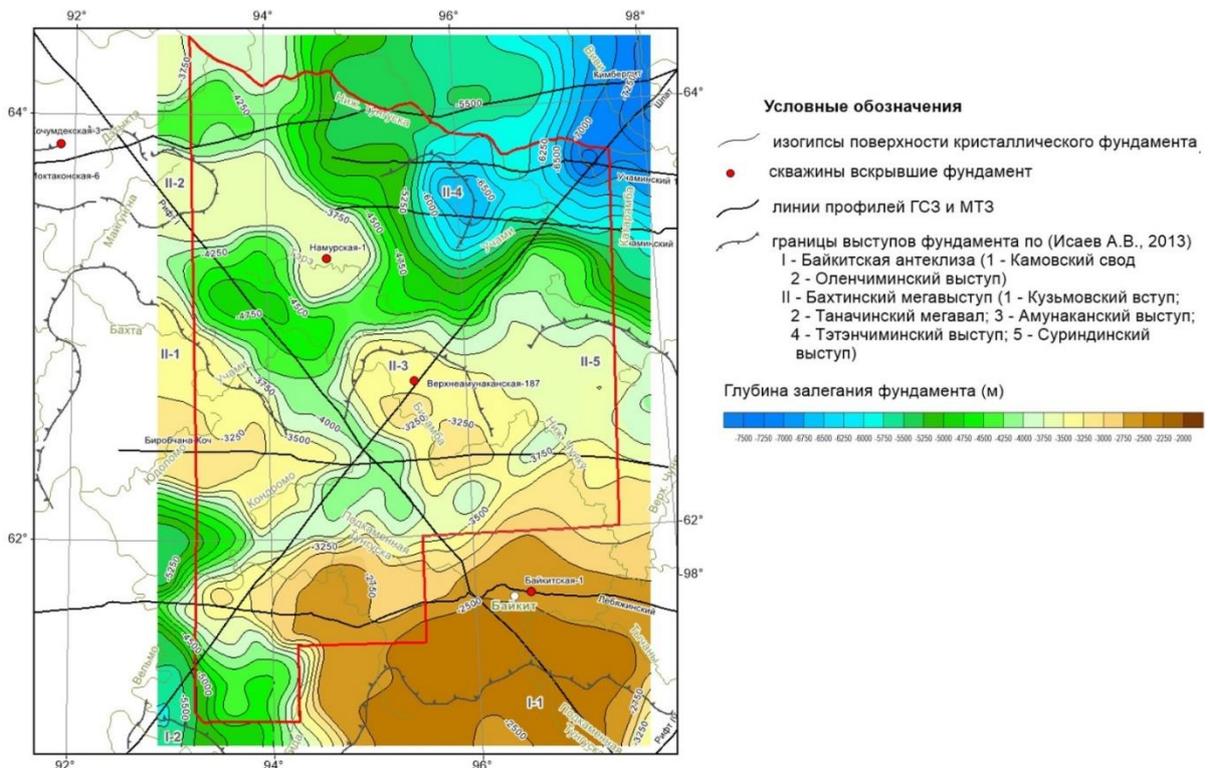


Рис. 2. Структурно-тектоническая карта зоны сочленения Байкитской антеклизы и Курейской синеклизы.

2. Районирование территории по критериям близости к объекту с «идеальными» коллекторскими свойствами

В результате комплексного анализа данных гравиразведки, аэромагниторазведки, сейсморазведки, бурения, геохимии и электроразведки, проведенного для оценки перспектив нефтегазоносности на площади исследования, в разрезе осадочного чехла было выделено несколько интервалов, обусловленных литологическими особенностями отложений, с которым могут быть связаны перспективные УВ-объекты. Один из них – интервал от кровли бельской свиты нижнего кембрия до кровли усольской свиты нижнего кембрия (горизонты К2 – У1), в пределах которого по сейсмическим данным выделяется органогенно-обломочный слой, трактуемый как зона аккумуляции обломков рифогенных построек. Эта зона подсекается разрезом УЭС по профилю Лебяжинский и данными БК по скважине Майгунская-275.

Для районирования территории в пределах этого интервала по комплексу признаков была выполнена критериальная таксономия по мере сходства с «идеальным объектом». В качестве критериев были использованы следующие признаки.

- 1) Временная мощность органогенно-обломочного слоя в интервале К2 – У1 (рис. 3). Критерий рассчитывался по сейсмическому кубу, созданному на район работ по технологии построения объемных седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов [Мушин И.А. и др., 2012]. Структурная основа и карты изохрон по основным горизонтам осадочного чехла получены по результатам переобработки и переинтерпретации ретроспективного массива сейсмических профилей.
- 2) Среднее значение эффективной плотности в интервале К2 – У1, рассчитанное по 3D спектральной инверсии поля силы тяжести (рис. 4). Параметры спектральной инверсии гравитационного и магнитного полей были подобраны с использованием опорных профилей ГСЗ «Шпат», «Рифт-1» и «Кимберлит-1» по технологии [Спиридонов В.А. и др., 2020]. Осреднение в пределах слоя выполнено по оси Z.
- 3) Среднее значение эффективной намагниченности в интервале К2 – У1, рассчитанное по 3D спектральной инверсии магнитного поля (рис. 5).

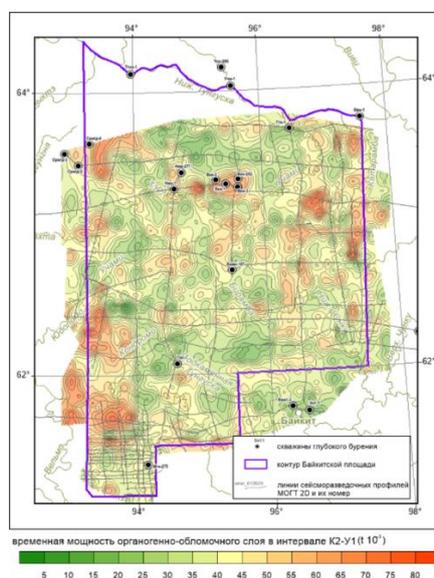


Рис. 3. Временная мощность органогенно-обломочного слоя в интервале К2 – У1

По этим критериям было сформировано понятие «идеальный объект», который характеризуется:

- максимальной временной мощностью органогенно-обломочного слоя;
- минимальной эффективной плотностью в слое (разуплотнение горных пород, связанное с литологическими особенностями в нем);

- минимальной эффективной намагниченностью (исключение областей развития трапповых и интрузивных комплексов большой мощности).

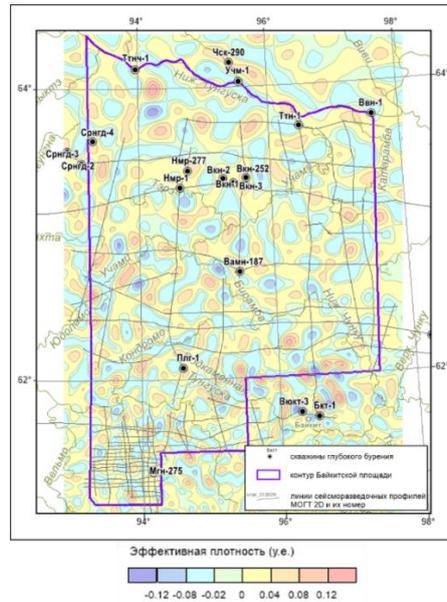


Рис. 4. Среднее значение эффективной плотности в интервале K2 – U1

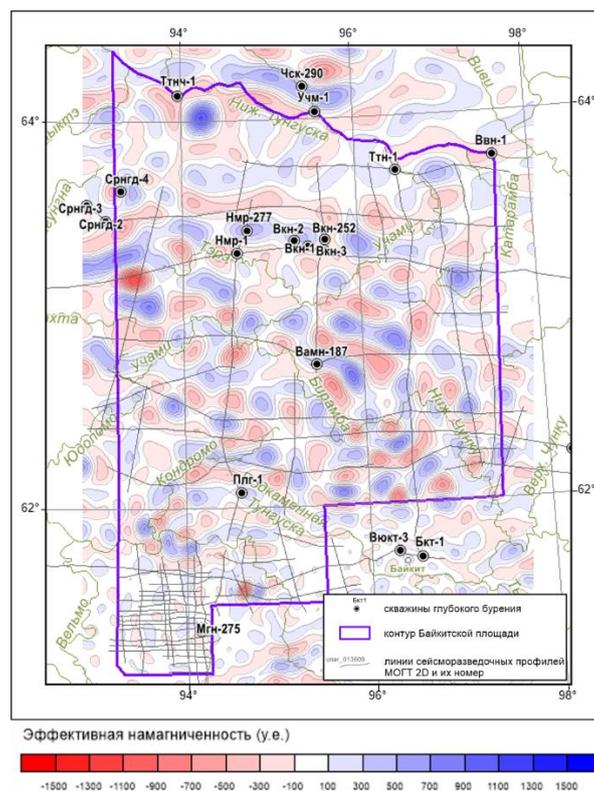
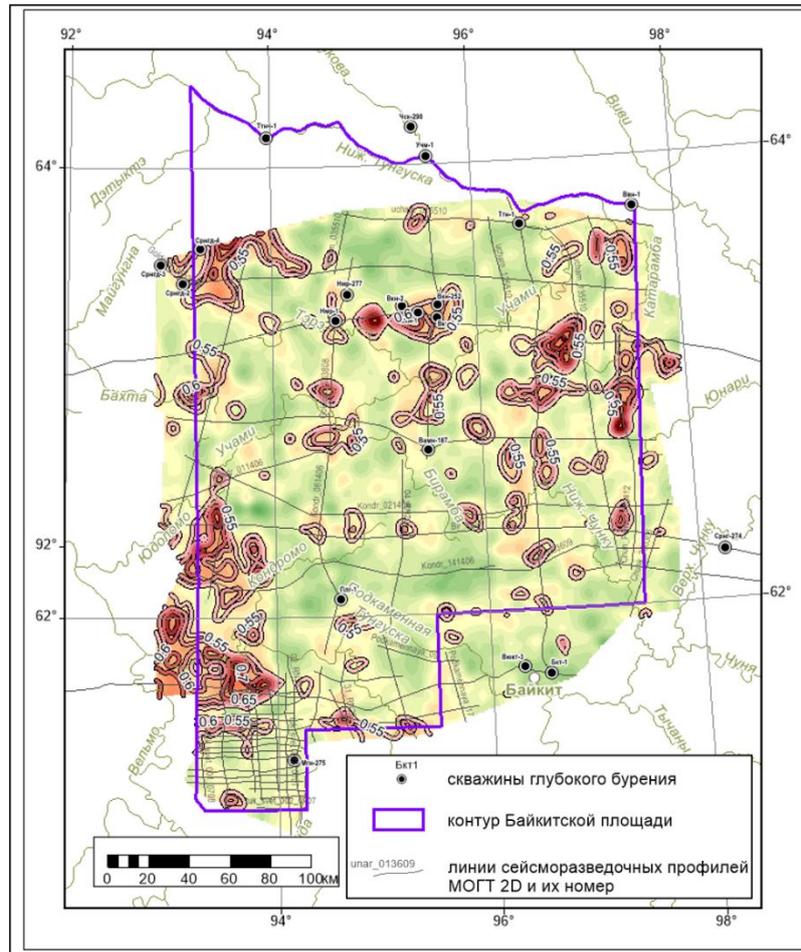


Рис.5. Среднее значение эффективной намагниченности в интервале K2 – U1

Для того, чтобы критерии были направлены в одну сторону и не компенсировали друг друга при расчетах, значения эффективных параметров (плотности и намагниченности) были взяты с противоположным знаком. Веса критериев подбирались интерактивно, приоритет был отдан критерию толщины органогенно-обломочного слоя (вес = 1,5). Вес остальных критериев был оставлен = 1.

В результате критериальной таксономии (рис. 6) был получен максимальный коэффициент сходства с «идеальным» объектом равный 0,75. Минимальный коэффициент сходства составил 0,25.

Можно отметить, что области наибольшего сходства с «идеальным» объектом все, за редким исключением, приурочены к линиям сейсмических профилей. Площади, характеризуемые повышенными значениями эффективной плотности и намагнитченности, отвечают областям с минимальными толщинами органогенно-обломочного слоя.



Изолинии меры сходства (изменяется от 0 до 1)
с идеальным объектом, принятым за 1



Рис. 6. Результат критериальной таксономии по мере сходства с «идеальным» объектом в интервале К2 – У1. Веса критериев: временная мощность органогенно-обломочного слоя = 1,5; средняя эффективная плотность и намагнитченность = 1

Максимальная мера сходства с «идеальным» объектом в слое К2 – У1 (до 0,75) отмечается вдоль северной границы Бахтинского мегавыступа (Таначинский мегавал, Суриндинский выступ), а также в зоне сочленения Бахтинского мегавыступа и Преденисейского прогиба. В центральной части Бахтинского мегавыступа сходство с «идеальным» объектом незначительно, что в не последнюю очередь связано с зоной повышенной магматической активности северо-западного простирания, выделяемой по геологическим и геофизическим данным. Кроме того, сопоставление результата критериальной таксономии с параметром «степень насыщенности траппами» в интервале К2-Р0 (кровля бельской свиты нижнего кембрия – эрозия подошва венда), рассчитанным по данным магнитометрии, указывает на то, что крупные перспективные объекты расположены вне зоны максимального значения этого параметра.

Перспективные области на УВ в интервале К2-У1 выделялись по изолинии меры сходства с «идеальным» объектом, равной 0.6, с учетом непопадания в область повышенных значений коэффициента насыщенности траппами в целом для осадочного чехла (> 250 у.е), полученным по данным магнитометрии (рис. 7).

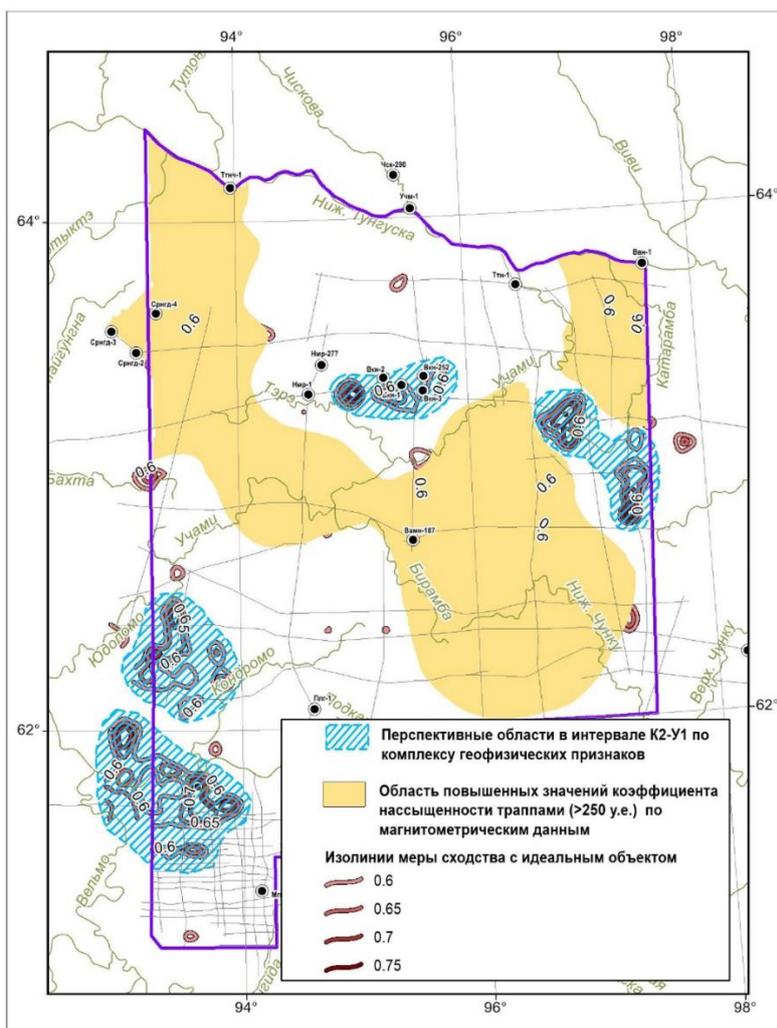


Рис. 7. Области, перспективные на УВ, выделенные в результате критериальной таксономии по мере сходства с «идеальным» объектом в слое осадочного чехла К2-У1

3. Выявление в осадочном чехле зон повышенной проводимости, связанных с улучшенными коллекторскими свойствами

Целевые объекты нефтегазового поиска в пределах продуктивного рифей-палеозойского этажа, как правило, обладают повышенной электропроводностью, обусловленной ионной проводимостью заполняющего пустоты флюида и являющейся маркером областей развития потенциальных коллекторов. В то же время выделяемые электроразведкой области высокие значения УЭС, характерные для массивных отложений, отвечают зонам развития плохо проницаемых покрышек.

Локализация зон повышенной электропроводности для Байкитской площади проводилась в рамках комплексного анализа геофизических данных с использованием имеющихся цифровых электроразведочных материалов зондирований и инструментария ГИС *INTEGRO*. Анализировались ретроспективные материалы магнитотеллурических (МТ) зондирований: геоэлектрические разрезы (разрезы удельного электрического сопротивления, УЭС) до глубин 15 км. по 4 региональным профилям МТЗ (рис. 8). Эти разрезы были построены коллегами из ООО «Северо-Запад» в рамках единого методического подхода с применением высокоразрешающих контролируемых 2D инверсий (работы по проекту ФА Роснедра). Анализ вариаций электропроводности НГК был первично проведен ими же в более широком охвате территории сопряжения региональных синклиальной и антиклиальной структур. Новизну настоящего исследования обеспечивало использование в качестве главной опоры построений уточненного структурного каркаса - линий отражающих сейсмических горизонтов (ОГ), построенных по результатам сеймокорреляции на материалах сейсмических разрезов, переобработанных в 2023г. во ВНИГНИ. Анализ ЭР данных проводился в блоке Электроразведка

комплекса ГИС INTEGRО. Использовалась специальная процедура подсчета статистических характеристик распределений параметров геофизических разрезов в полигональных областях, которые в данном случае соответствовали целевым НГК в слоистых моделях среды. По имеющимся цифровым геоэлектрическим разрезам подсчитывались усредненные значения УЭС (обратные к электропроводности) для продуктивных горизонтов, ограниченных следующими поверхностями структурного каркаса: Н – подошва эвенкийской (летнинской) свиты среднего кембрия; К1 – кровля бельской (сурингдаконской) свиты нижнего кембрия; К2 – кровля отложений нижнебельской подсвиты (бурской свиты) нижнего кембрия; U1 – пласт доломитов в верхней части усольской свиты (кровля марской свиты); В – кровля отложений тэтэрской свиты венда – нижнего кембрия; R0 – вблизи кровли предвендской эрозионной поверхности. Также использовалась верхняя кромка кристаллического фундамента F, построенная по материалам потенциальных полей.

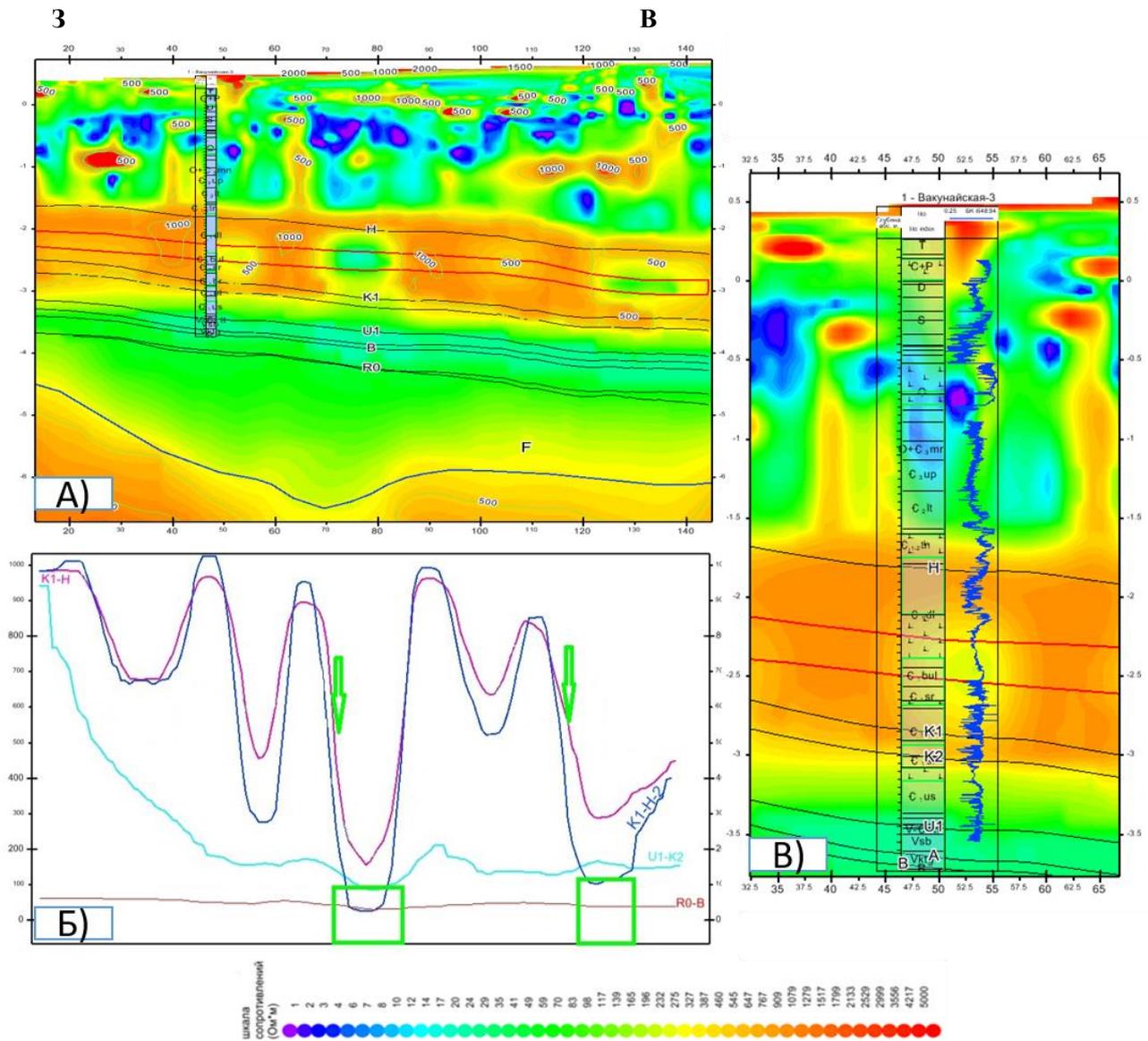


Рис. 8. Выделение областей пониженных удельных электрических сопротивлений (УЭС) в геоэлектрическом разрезе по линии профиля «Учаминский-2» (а) - разрез УЭС до глубины 6.7 км для фрагмента профиля в пределах Байкитской площади; (б) – графики вариаций по профилю усредненных по мощности значений УЭС (Ом·м) для четырех перспективных НГК (соответственно маркерам кривых); (в) – укрупненный фрагмент с колонкой и электрокартажем (БК) скв. Вакунайская-3.

Рисунок 8 иллюстрирует технику и результаты проведения процедур выявления и анализа характеристик зон повышенной электропроводности в вышеуказанных НГК на базе итогового варианта сейсмического каркаса по материалам МТ профиля «Учаминский-2». Представленный геоэлектрический разрез, как и другие разрезы, построенные в ООО «Северо-Запад» вдоль региональных МТ профилей и используемые в нашем анализе, был получен в итоге применения комбинированной технологии 2D инверсии МТ данных с ограничениями по данным ЗСБ, сеймики и бурения. Оценки вариаций средних (медианных) значений УЭС для перспективных НГК, определенных в соответствующих структурных границах, вынесены на верхней панели рисунка в виде графиков с маркировкой названиями соответствующих толщ. В слоях целевых толщ осадочного чехла на разрезе УЭС и на графиках отчетливо выделяются проводящие интервалы. В пределах галоген-карбонатного комплекса разреза, повышенная электропроводность, наиболее вероятно, связана с флюидизацией участков повышенной пористости или трещиноватости – т.е. улучшенными коллекторскими свойствами. Однако, нельзя исключить вклад в суммарную проводимость возможного в ряде случаев повышения содержания глинистой компоненты (например, прослой глиен в доломитах).

Электропроводность корбонатно-терригенного комплекса в интервале границ R0-B достаточно высока, что позволяет прогнозировать его улучшенные коллекторские свойства. Рифейские горизонты также характеризуются на разрезе значительной проводимостью (терригенные отложения/кора выветривания?). По электромагнитным откликам они не отличаются от вендских проводящих толщ и, по-видимому, образуют на ПК 30-100км пологий и достаточно глубокий (до 2 км) перспективный прогиб.

Зелеными прямоугольниками на графиках панели (а) рисунка 8 отмечены участки, на которых оценки УЭС в средней части слоя *K1-H* (график *K1-H-2*, полученный путем осреднения УЭС по области этого НГК, обведенной красным прямоугольником) удовлетворяют критериям выделения коллекторов, определенным по электрокаротажным данным. Последние определяют как «коллектор» участок НГК с величинами УЭС, не превышающими 88 Ом·м. Голубыми стрелками на графиках отмечены перекрытые хорошей крышкой (слоем-изолятором) участки этого горизонта, которые могут представлять поисковый интерес как зоны возможного формирования неструктурных ловушек при переходе по восстанию пласта от проводника (водного коллектора) к изолятору (плохо проницаемым, высокоомным отложениям). Геоэлектрическая схема подобных ловушек (ловушек «барьерного типа»), предложенная ООО «Северо-Запад», показана на рисунке 9.

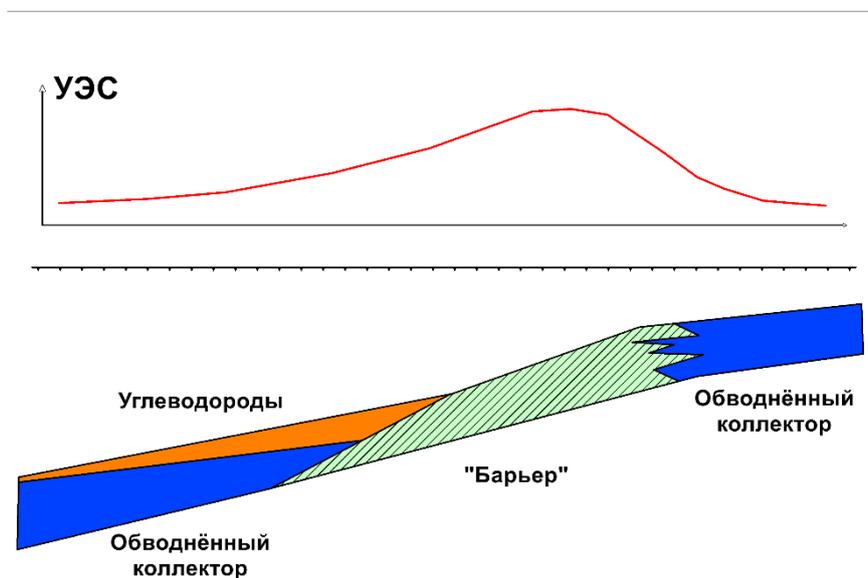


Рис. 9. Зависимость УЭС от типа насыщения коллектора - геоэлектрическая схема неструктурной ловушки «барьерного» типа (по работам ООО «Северо-Запад»).

Остановимся на анализе материалов расщетки МТЗ к профилю «Скв. Лебяжинская – скв. Чуньская», пройденной вдоль сейсмического профиля 025-07-07 Туколано-Светланинской площади, занимающей самый ЮЗ участок изучаемой территории (см. рис. 6). Анализ был проведен с опорой на скважину Мгн 275. На нижней панели рисунка 10 показан соответствующий разрез УЭС (до глубины 3.5 км) с вынесенными изолиниями (значения в Ом·м), линиями сейсмических ОГ, условной поверхностью фундамента (проведена по изолинии УЭС 400 Ом·м), а также четырем полигонами, в каркасе которых оценивались усредненные по мощностям отдельных свит (медианные) профильные распределения УЭС в НГК карбонатно-терригенного вендского и карбонатно-солевого кембрийского комплексов: *R0-B*, *У1-К2*, *К1-Н* и *К1-Н2* (нижняя часть интервала *К1-Н*, обведена розовым контуром). Графики соответствующих профильных вариаций усредненных УЭС (Ом·м) приведены на верхней панели рисунка над разрезом.

По результатам проведенного оценивания в разрезе МТ-расщетки (рис. 10) выделен протяженный (порядка 20 км) участок (голубой прямоугольник на панели графиков), в пределах которого в нижней части пачки пород булайской и ангарской свит (слой *К1-Н-2*) медианные оценки УЭС не превышают величины 88 Ом·м. Такие отметки УЭС являются критерием выделения коллекторов по данным электрокаротажа. Скважина Майгуннская-275, колонка которой показана на этом же рисунке, расположена к 8-10 км к югу от окончания области яркого проводника. В данных электрокаротажа БК этой скважины (синий график) уже не отмечается столь сильное возрастание проводимости в низах ангарской свиты. Фиксируются несколько силлов, характеризующихся значительным диапазоном значений УЭС: от более 1000 (массивные долетиты) - до сотен и десятков Ом·м (газо-насыщенные магнетизальные приконтактно-измененные и пропитанные солеными растворами образования). Вариации УЭС геоэлектрического разреза по глубине (красный график), в целом, демонстрируют достаточно выраженную корреляцию с каротажной кривой БК.

При опоре на скважинные данные совместный анализ разреза УЭС по расщелке к скв. Мгн-275 с сейсмо-динамическим разрезом профиля 025-07-07 и соответствующими сечениями 3D-моделей избыточных плотности и намагниченности, построенных для Байкитской площади средствами ГИС *INTEGRO*, позволил дать согласованный вариант интерпретации всего набора геофизических данных в терминах магматических образований, согласно которому зону очень высокой проводимости (до единиц Ом·м) в низах ангарской свиты с наибольшей вероятностью можно связать с приконтактной и приразломной деструкцией, обусловленной интрузивным внедрением, и заполнением пустот водно-солевыми растворами. Однако к югу эту зону проводников в ангарской толще *К1-Н-2* сменяют отложения повышенных сопротивлений (более 100 Ом), сверху перекрытые долеритовым силлом (на глубинах ~725 м). Голубые стрелки на рисунке 10 указывают на положение зоны контакта «проводник-Изолятор», в которой высокопроницаемый участок по восстанию пласта (в направлении подъема склона Байкитской антеклизы и, следовательно, - в направлении УВ-миграции) сменяется слабопроницаемым, что дает определенные перспективы для обнаружения здесь неструктурной ловушки «барьерного типа» (рис. 9).

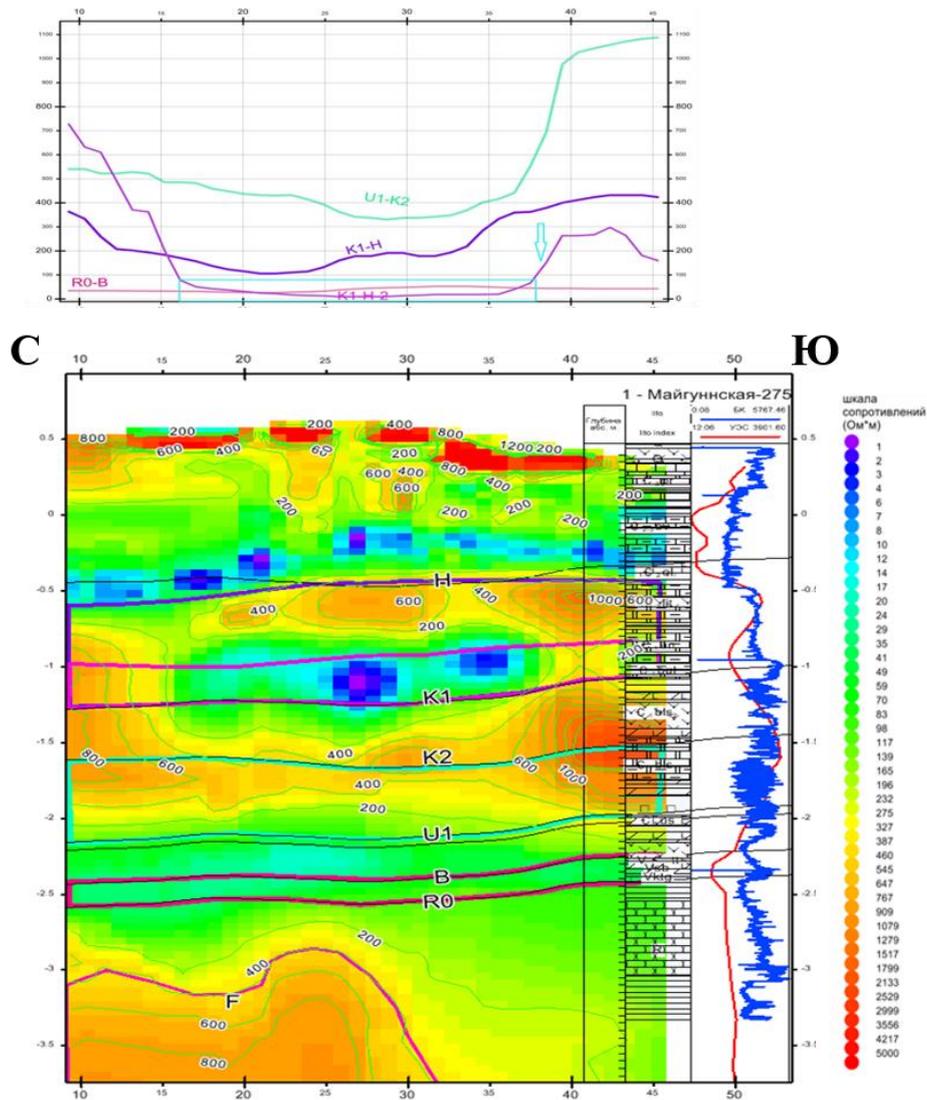


Рис. 10. Выделение областей повышенной электропроводности, перспективных на наличие водных коллекторов, в геоэлектрическом разрезе по расщелке на скв. Майгуннская-275 к профилю МТЗ «скв. Лебяжинская-2 - скв. Чуньская-120». Вместе с литостратиграфической колонкой скв. Мгн-275 (см. ее положение на рис. 5) показаны (шкала УЭС в $\log \text{ Ом}\cdot\text{м}$): кривая электрокартажа (БК, синяя линия) и кривая изменения с глубиной УЭС в пункте профиля, отвечающему спектрированному положению скважины (красная гладкая линия).

Построения, аналогичные представленным на рис. 8, 10, были проведены по всем МТ профилям для получения представлений о пространственном распространении зон повышенной проводимости (улучшенных коллекторских свойств). Примеры пространственной интеграции результатов всех рассмотренных профилей для двух НГК (K1-H и R0-B) показаны на рисунке 11.

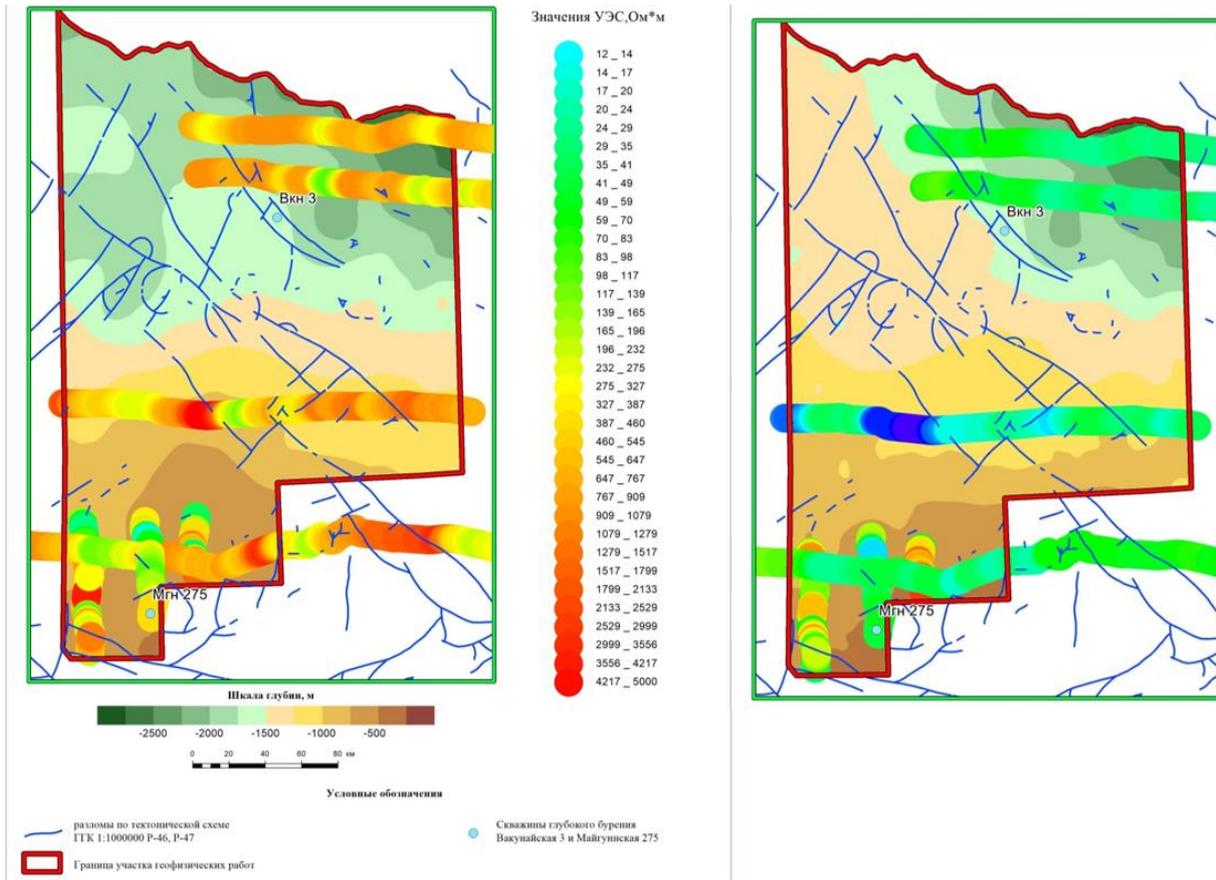


Рис. 11. Карты-схемы усредненных значений УЭС для двух НКГ осадочного чехла Байкитской площади: в пределах ОГ К1-Н (слева) и ОГ R0-B (справа).

На картах рисунка 11 ряд аномалии электропроводности маркируют несколько перспективных участков. К сожалению, ввиду крайне редкой сети линий МТЗ, межпрофильная корреляция прогнозных зон невозможна. Однако, даже этот объем электроразведочной информации важен для верификации других прогнозных признаков, выделенных по данным, имеющим более равномерное площадное покрытие (сейсмическим, потенциальным полям). В свою очередь, степень корреляции прогнозных признаков различной природы дает возможность ранжировать перспективность выделяемых участков с улучшенными коллекторскими свойствами в целевых НКГ для уверенного планирования дальнейших разведочных работ и обоснованного размещения скважин поискового бурения.

Для Туколано-Светланинской площади, расположенной на ЮЗ площади «Байкит» и покрытой наиболее плотной сетью электроразведочных профилей (включая разрезы по профилям ЗСБ 2023г.), результаты выделения по электроразведочным данным зон с улучшенными коллекторскими свойствами соотнесены с областями выделения коллекторов согласно критериям, сформированным по совокупности сейсмических атрибутов.

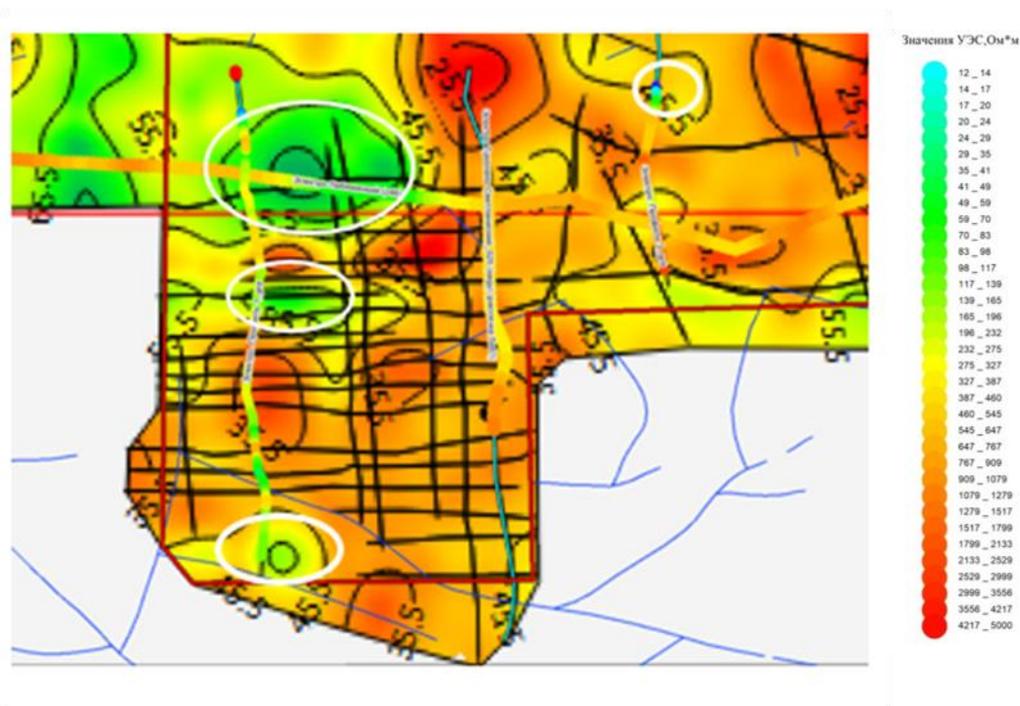


Рис. 12. Сопоставление оценок средних (медианных) значений УЭС в горизонте U1-K2 (показаны вдоль электроразведочных профилей цветными полосами по шкале УЭС в Ом-м) с площадным распределением в пределах Туколано-Светланинской площади оценок временных толщин (цветная шкала, секунды) части этого горизонта, соотносимой со слоем биогенных известняков.

Овалами на рисунке 12 выделены участки уверенной пространственной корреляции зон пониженных УЭС (повышенной трещиноватости/пористости) влагонасыщенных карбонатов горизонта U1-K2 с областями повышенных временных толщин интервала нижнебельской свиты, интересующего геологов-нефтяников как участки предполагаемого развития органогенно-обломочных (рифтовых) карбонатных отложений. Результаты проведенной верификации распределения сейсморазведочных прогнозных признаков независимыми свидетельствами возможного присутствия УВ коллекторов, полученными по данным электроразведки, позволяют с возросшей уверенностью обозначить выделенные участки как перспективные.

Заключение

Комплексный подход, обеспеченный средствами ГИС *INTEGRO* при изучении расположенной на юго-западе Восточно-Сибирской платформы и перспективной на углеводороды Байкитской площади, дал возможность провести совместный анализ различных геофизических моделей палеозойского осадочного чехла и получить достоверные оценки физических свойств, а также связанных с ними параметров нефтегазоносности породных комплексов: выделить пласты-коллекторы, их покрышки и потенциальные области расположения нефтегазовых ловушек барьерного типа. Результаты проведенных исследований позволяют снизить вероятность принятия ошибочных решений на стадии углеводородного поиска, а также при последующем заложении поисково-разведочных скважин.

Список источников

1. Применение ГИС *INTEGRO* при комплексном геофизическом изучении глубинного строения нефтегазоперспективных регионов (часть 2) / Е. М. Большаков, И. А. Бисеркин, И. С. Куприянов [и др.] // Геоинформатика. – 2023. – № 1. – С. 31-42. – DOI : 10.47148/1609-364X-2023-1-31-42. – EDN : UGPLCT.

2. Куприянов, И. С. Возможности блока анализа магнитотеллурических данных в комплексе ГИС INTEGR0 / И. С. Куприянов // Геоинформатика. – 2022. – № 2. – С. 4-11. – DOI : 10.47148/1609-364X-2022-2-4-11. – EDN : TFLQSA.
3. Мушин И. А., Фортунатова Н. К., Белоусов Г. А. Технология построения седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов // // Технологии сейсморазведки. – 2012. – № 1. – С. 37-45. – EDN : OXXACH.
4. Спиридонов В. А., Пиманова Н. Н. Методические и технологические аспекты исключения гравитационного эффекта нижней части земной коры при изучении осадочного чехла нефтегазоносных территорий // Геоинформатика. – 2020. – № 3. – С. 38-45. – DOI : 10.47148/1609-364X-2020-3-38-45. – EDN : HBFCVD.
5. ГИС INTEGR0. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения / Е. Н. Черемисина, М. Я. Финкельштейн, К. В. Деев, Е. М. Большаков // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 31-40. – DOI : 10.31087/0016-7894-2021-3-31-40. – EDN : CANDIN.