

УДК 550.3

**Определение удельного электрического сопротивления пород
методом сканирования при поисках и разведке
месторождений углеводородов**

Б. К. Сысоев¹, А. К. Ягафаров², Ш. А. Арсан^{2*}, Д. С. Худяков¹

¹ООО «МТелл», г. Тюмень, Россия

²Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*e-mail: shadiarsan@geologist.com

Аннотация. Статья содержит информацию об определении удельного электрического сопротивления пород методом сканирования магнитотеллурического зондирования при поисках и разведке месторождений углеводородов.

Ключевые слова: метод магнитотеллурического зондирования; метод электромагнитной разведки; геоэлектрический разрез

**Determination of the electrical resistivity of rocks by scanning method while
searching and exploring hydrocarbon deposits**

Boris K. Sysoev¹, Alik K. Yagafarov², Shadi A. Arsan^{2*}, Denis S. Khudyakov¹

¹MTell LLC, Tyumen, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*e-mail: shadiarsan@geologist.com

Abstract. The article contains information on the determination of the specific electrical resistivity of rocks by scanning magnetotelluric sounding method while searching for and exploring hydrocarbon deposits.

Key words: magnetotelluric sounding method; electromagnetic prospecting method; geoelectric section

Введение

Теоретически можно предположить, что если магнитные потери в проводнике, то есть в геосреде отсутствуют или составляют малую величину ($\mu \cong \mu_0$), то глубина проникновения поля определяется толщиной скин-слоя, которая имеет размерность длины и в магнитотеллурических методах определяется по формуле $h = 159,2 \cdot Z/f$, отсчитываемой от поверхности (Z — комплексное волновое сопротивление «импеданс», которое среда оказывает распространению электромагнитного поля; f — частота колебаний).

Объект и методы исследования

Методика полевых работ магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и магнитотеллурического сканирования (МТС) мало чем отличается. В основу

интерпретации данных магнитотеллурического сканирования положена S-трансформация, то есть преобразование импедансных кривых $Z(f)$ в кривые интегральной проводимости $S(h)$. S-трансформация представляет собой решение корректной задачи и дает достаточно твердую и притом наглядную основу для суждений о геоэлектрическом разрезе, позволяет определить положение геоэлектрических границ и средние сопротивления отдельных интервалов глубин. При сканировании по формуле $\rho_{инт} = \Delta h / \Delta S$ определяется интервальное сопротивление, и анализируются графики изменения сопротивления от глубины в линейном масштабе подобно каротажу скважин. В принципе это обобщенный псевдокаротаж без бурения скважин (рис. 1) [1–3].

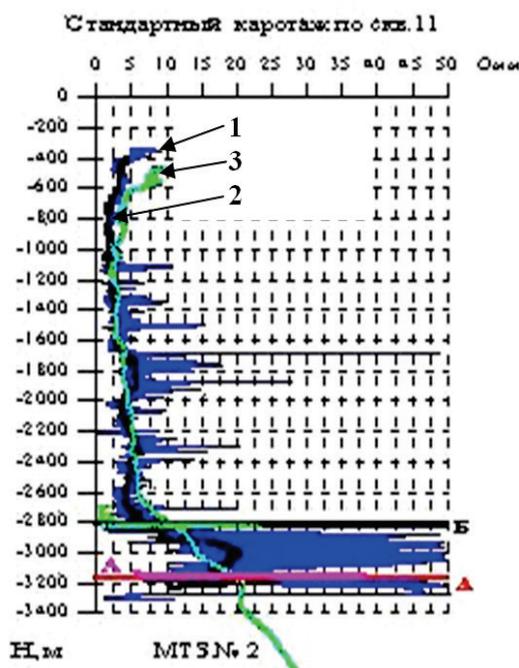


Рис. 1. Сопоставление KC по скв. 11 с данными МТЗ: 1 — сжатая KC; 2 — осредненная KC

экспериментально наблюдаемые явления, не вписывающиеся в рамки классической электродинамики и обязанные своим существованием специфике исследуемой геологической среды. Последняя, как известно, представляет собой сложную энергетически открытую гетерогенную и полифазную систему, находящуюся в локально неустойчивом состоянии. Неклассическая геоэлектрика открывает новые перспективы к более тонкому изучению строения геоэлектрической среды и происходящих в ней геодинамических и иных процессов [3–6].

Здесь необходимо остановиться на понятии термина «искаженные» кривые МТЗ, часто применяемого в классической геоэлектрике. Реальная кривая МТЗ считается искаженной, если она не совпадает с кривой для горизонтально-слоистого вертикального разреза в интервале, где получена эта кривая. Но в природе в подавляющем большинстве случаев реален трехмерный горизонтально-неоднородный геоэлектрический разрез, и поэтому кривую над таким разрезом в строгом понимании нельзя назвать искаженной — именно она и

В классическом варианте метода МТЗ интерпретация осуществляется по логарифмическим зависимостям ρT (кажущегося сопротивления) от частоты (аналога глубины). Одним из основополагающих методологических принципов классической геоэлектрики является принцип моделирования изучаемых полей и сред. Моделирование является составной частью любой процедуры и технологии решения обратной задачи и более общей задачи интерпретации. Но обратные задачи в общем случае некорректны. Это означает, в частности, что сколь угодно малая погрешность в экспериментальных данных может привести к как угодно большим погрешностям в результатах интерпретации. Отсюда следует вывод о необходимости применения методов неклассической геоэлектрики, при которой изучаются

характеризует этот природный геоэлектрический разрез. Таким образом, представление реальных кривых МТЗ как искаженных, широко распространенное в геофизической литературе, не совсем корректно отражает сущность геологической информативности кривых. А термин «искаженные кривые» позволяет электроразведчикам творить произвол при выборе кривой при интерпретации, вводя тем самым в заблуждение специалистов других направлений, так как под этим подразумевается невозможность получения объективной информации о вертикальном разрезе в точке наблюдения МТЗ. В результате многие исследователи почти безосновательно исключают из анализа «искаженные кривые», которым не могут найти объяснение [3, 4, 8, 9].

Результаты

Все возрастающие потребности в детальной интерпретации достаточно сложных геоэлектрических разрезов предъявляют все более высокие требования к анализу более полной информации магнитотеллурических исследований, к использованию взаимно перпендикулярных кривых зондирования, анализа электрической анизотропии пород, построения объемных моделей среды.

Формат обработки и результаты исследований при площадных работах позволяют производить фактически сканирование геосреды на различных глубинах.

Многочисленные проверки показали, что информация, получаемая с помощью трансформации $\rho(h)$, достоверна и метрологически корректна.

При корреляции характерных особенностей графиков изменения интервальных сопротивлений по профилю достигается информация о наличии геоэлектрической границы на той или иной глубине. Для построения геоэлектрических разрезов не требуется никакой дополнительной априорной информации.

Достоверность результатов подтверждается существующими данными бурения и каротажа скважин (рис. 2).

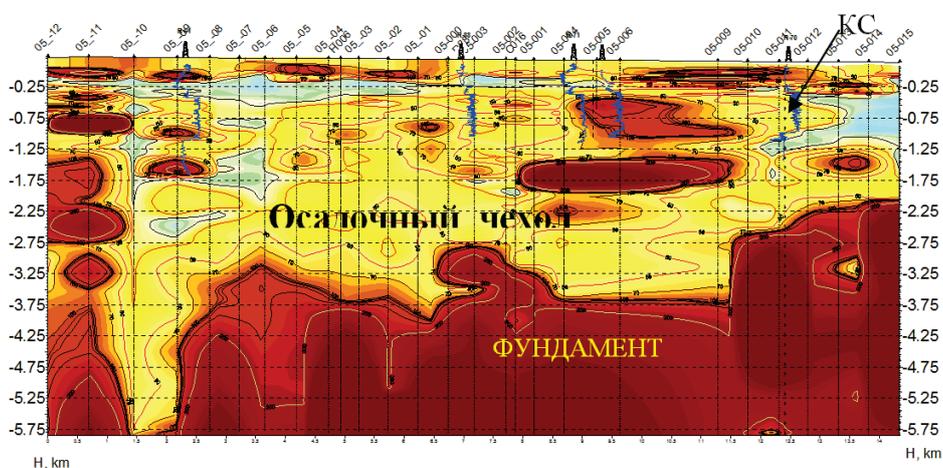


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по пр. 5 (Болгария, пл. Добрич)

Геоэлектрический разрез, полученный в результате сканирования, однозначно соответствует реальному геологическому разрезу. Предложенная интерпретация позволяет получать информацию о геологических объектах, которую получить с помощью других геофизических методов почти невозможно. В первую очередь это касается выявления тектонических нарушений и их влияния на всю толщу покрывающих их осадочных пород. Непосредственное

наблюдение и картирование тектонических нарушений позволяют выявлять места повышенной фильтрации в осадочной толще и подстилающих образованиях, мощные зоны дробления в породах фундамента и земной коры.

В настоящее время в нефтегазовой индустрии происходят серьезные качественные изменения. Многие открытия не вписываются в классические схемы осадочно-миграционной теории нефтегазоносности. Расширение сферы нефтепоисковых работ, выход в новые районы, освоение шельфа и больших глубин привели к открытию нестандартных бассейнов и нетрадиционных залежей нефти и газа.

Перспективы расчленения фундамента становятся реальными [1, 10, 11]. До недавнего времени «классические» фундаменты на древних и молодых платформах рассматривались как стерильные образования. Но факты говорят об обратном. В некоторых районах значительные нефтяные месторождения приурочены к трещинным коллекторам, расположенным в пределах выступов кристаллического фундамента, в том числе и на больших глубинах. Уже более 500 месторождений обнаружено в фундаментах, включая метаморфические и магматические породы. Кристаллический фундамент далеко не на всех регионах изначально перспективен. Региональные электромагнитные исследования позволяют эффективно определить географические размеры территории, в пределах которой целесообразна постановка детальных поисково-разведочных геофизических работ для определения точного места заложения скважины [4–6, 8]. При наличии региональных покровов над поверхностью фундамента целенаправленные поиски значительных месторождений в кристаллических породах вполне рациональны в районах интенсивной складчатости, но малоперспективны на древних платформах с ослабленной активностью дезинтеграционных процессов.

В районе Ханты-Мансийска сопротивление земной коры в интервале между подошвой складчатого палеозоя и верхней мантией составляет 150–300 Ом. Кровля верхней мантии (Мохо) прослежена на глубине 10–28 км. В зонах, где толщина земной коры сокращается, наблюдается значительное уменьшение сопротивления слоя (до 50–70 Ом), и могут быть выявлены слабонаклонные и субвертикальные ослабленные проницаемые каналы. Проводящие зоны верхней мантии, характеризующие усиление глубинного теплового режима, рассматриваются как очаги генерации углеводородов (УВ). Эти пористые формации, несомненно, содержат в себе огромные ресурсы нефти и газа.

Геологическую основу прогноза нефтегазоносности территорий составляет концепция образования углеводородных месторождений от глубинных источников [11–13], откуда происходит восходящая миграция углеводорода по субвертикальным тектонически ослабленным проницаемым зонам. Поэтому изучение внутреннего строения кристаллических толщ имеет большое практическое значение. Проблема исследования кристаллических пород сейсморазведкой достаточно сложна, и применение здесь высокоточной, оперативной, недорогой и высокоэкологической электромагнитной разведки весьма перспективно.

Основной прирост запасов можно ожидать из небольших по размеру структур, в которых залежь имеет модель, скорее похожую на модель жильного типа залежи, связанной с субвертикальной зоной деструкции, уходящей глубоко в фундамент.

В связи с этим предлагается новое определение «залежи» нефти — это очень малые по размерам и, очевидно, растянутые по вертикали ловушки, содержат молодую нефть и, вероятно, систематически восполняют объемы извлекаемой нефти. Только в вихревом (солитонном) излучении на фоне расту-

шей Земли [13] можно, на наш взгляд, найти убедительное научное объяснение этого феномена [12, 14]. Согласно этой концепции, нефть генерируется благодаря энергии из простейшего вещества в виде протонов и атомов водорода, поставляемых из глубинных геосфер Земли по очень узким субвертикальным зонам деструкции в импульсном (пульсирующем или квантовом) режиме [15, 16]. С учетом, что рост Земли происходит с ускорением, образование месторождений полезных ископаемых следует ожидать также в ускоренном режиме [17, 18].

Генерационно-аккумуляционные нефтегазоносные системы, успешно выявляемые по данным электромагнитной разведки, позволяют определить положение и глубину формирования углеводородных флюидов и пути их миграции (рис. 3 и 4).

Целью электромагнитных исследований является построение структурно-параметрической геологической модели, пригодной для прогноза ресурсов углеводородов и выбора точек бурения, направления бурения и метода воздействия на залежь.

Применительно к фундаменту это означает, что по данным электромагнитной разведки необходимо решить несколько основных задач: картирование кровли и внутренней геометрии кристаллических пород; прогнозирование зоны развития в них каналов миграции углеводородов и зон трещиноватых коллекторов; оценка продольной электрической анизотропии и объемной пустотности пород.

Но главным достоинством электромагнитной разведки является возможность обнаружения таких нефтегазоперспективных объектов, которые находят свое отражение только в электромагнитных полях — это проявление аномального эффекта повышения сопротивления в залежи и над продуктивными структурами. Область влияния залежей углеводородов в нефтегазоносном разрезе достигает значительных размеров по вертикали и проявляется в изменении электрических свойств пород вплоть до земной поверхности. Эпигенетические изменения пород над залежью происходят в связи с постепенным просачиванием через флюидоупор летучих газов. Значительную подпитку дают новообразованные массы углеводородов за счет их современного генезиса в активных очагах литосферы. Наибольшие изменения претерпевают породы в интервале 600–900 м над залежами.

Еще в 1967 году региональными магнитотеллурическими работами аномальное уменьшение суммарной проводимости осадочных пород в верховье р. Казым было рекомендовано для поисков залежей УВ. Впоследствии на этой территории были открыты месторождения нефти и газа со значительными запасами.

Убедительным примером вертикальной миграции УВ из фундамента является обнаружение источников нефти на дне озера Байкал, где она сочится из тектонических трещин палеозойского основания. Подобные процессы отмечаются во многих нефтегазоносных районах мира. Эти вновь образованные, вторичные или «техногенные» залежи могут содержать значительные запасы первородной нефти. Уже сегодня можно говорить, что структурный контроль залежей в фундаменте имеет подчиненное значение. При столь сложном геологическом разрезе особое внимание следует уделять выработке новых методических приемов прогноза коллекторов по данным электромагнитных работ.

На рисунке 3 показано, что электромагнитные исследования позволяют обнаруживать перспективные целевые аномалии электропроводности в разрезе, поперечные размеры которых имеют значительно меньшие размеры, чем это возможно обнаружить в традиционных сейсморазведочных методиках.

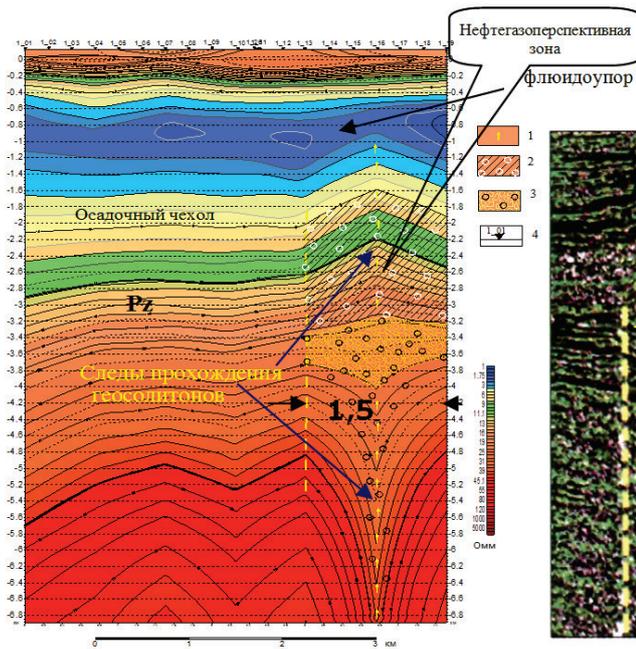


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по данным МТЗ в Омской области:
 1 — ось геосолитонного излучения;
 2 — нефтегазоперспективный объект;
 3 — линза деструкции (инверсии)

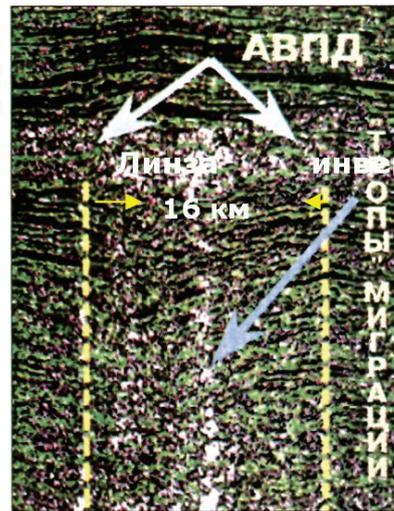


Рис. 4. 3D-сейморазведка. Пяяхинская инверсионная структура по [14]. Север Тюменской области

Опыт работ электромагнитными методами убеждает, что природа естественного электромагнитного поля Земли подчиняется дискретному вихревому закону развития. В земной коре все выносы энергии (в том числе наиболее значимое электромагнитное излучение) из земных глубин, как правило, происходят по субвертикальным траекториям, поэтому так часто на геофизических материалах наблюдаются вертикальные «каналы». Не зная корней зарождения и путей транспортирования полезных ископаемых, их не удастся эффективно искать. Методы электромагнитной разведки в этом смысле являются уникальными. Они позволяют осуществлять картирование на больших глубинах субвертикальных каналов с выявлением линзовидных зон дробления и зон флюидоупоров.

Выводы

В условиях слабой и неравномерной изученности недр и недостаточности для обоснования тактики освоения прогнозных ресурсов УВ доюрских комплексов необходимо выполнять опережающие магнитотеллурические работы.

Необходимо ориентировать разведочные работы на такие объекты, которые могут быть «растянуты» по большому стратиграфическому диапазону. Следует разрабатывать целевые методики для таких работ, которые могут существенно увеличить запасы УВ.

Опережающая электромагнитная разведка позволяет выделить благоприятные объекты для сейморазведки и бурения и тем самым сократить затраты

на разработку новых малоразмерных, но с высоким дебитом месторождений жильного типа.

Присутствие проводящих пород внутри фундамента свидетельствует о наличии в пределах верхней части земной коры пористых отложений, которые могут служить резервуарами для накопления УВ. И здесь для надежного детального картирования подобных очагов нефти, прежде всего, потребуются перейти на крупномасштабное объемное электромагнитное сканирование земной коры.

Магнитотеллурические исследования позволят выделить нефтегазоперспективные объекты, характеризовать ловушки не только как физические тела, но и по характеру насыщения, предполагать наличие залежей УВ в широком интервале глубин: осадочный чехол — верхняя мантия.

По результатам высокоразрешающей электромагнитной разведки возможно обеспечить точное попадание каждой поисковой, разведочной и эксплуатационной скважины в наиболее перспективные зоны накопления УВ.

Оправданность крупномасштабных магнитотеллурических работ в отсутствии полной и достоверной картины развития, пространственной структуры проводящего канала не должна вызывать серьезных возражений и сомнений. Точное попадание поисковой скважиной в оптимальный высокодебитный участок малоразмерной залежи может привести к идеальной схеме: эта единственная скважина, выполнив функции поисковой и разведочной, может оказаться единственной добывающей скважиной с высокими дебитами [12, 19].

Сокращение сроков и стоимости освоения территории за счет снижения объемов последующих сейсморазведочных работ и поискового бурения в этом случае очевидно. С точки зрения простоты и дешевизны широкое применение детальной объемной электромагнитной разведки обеспечит необходимую точность и разрешение малоразмерных в плане структурных элементов и устойчивых вертикальных каналов проницаемости.

Предложенная поисковая стратегия может быть весьма рациональной, малозатратной и эффективной при оценке перспектив нефтегазоносности, особенно в слабо изученных районах.

Библиографический список

1. Изучение внутренней структуры и коллекторских свойств кристаллического фундамента сейсморазведкой 3Д / А. Г. Авербух [и др.] // Геофизика. – 2007. – № 4 – С. 66–73.
2. Spichak V. V. Modeling of magnetotelluric fields in 3-D media // *Methods in Geochemistry and Geophysics*. – 2007. – Vol. 40. – P. 313–350.
3. Кузнецов В. А. О нормализации кривых магнитотеллурического зондирования, искаженных S-эффектом // *Физика Земли*. – 2005. – № 7. – С. 91–96.
4. Joint interpretation of magnetotelluric, seismic, and well-log data in Hontomín (Spain) / X. Ogaya [et al.] // *Solid Earth*. – 2016. – №7. – P. 943–958. DOI: 10.5194/se-7-943-2016
5. Berdichevsky M. N., Dmitriev V. I. *Models and methods of magnetotellurics*. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 576 p.
6. Berdichevsky M. N., Zhdanov M. S. *Advanced theory of deep geomagnetic sounding*. – Amsterdam: Elsevier, 1984. – 408 p.
7. Дортман Н. В., Фивег С. М. Удельное электрическое сопротивление минералов и горных пород // *Петрофизика: справочник*. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н. В. Дортман. – М.: Недра, 1992. – С. 183–204.
8. *The magnetotelluric method theory and practice* / A. D. Chave, A. G. Jones (Eds.). – New York: Cambridge University Press, 2012. – 604 p.
9. Барашков А. С., Дмитриев В. И. Об обратной задаче глубинного магнитотеллурического зондирования // *Доклады Академии наук СССР*. – 1987. – Т. 295, № 1. – С. 83–86.

10. Барашков А. С. Восстановление электромагнитных полей на поверхности Земли по тензору импеданса // Физика Земли. – 1986. – № 5. – С. 43–52.
11. Романюк Т. В., Муни В. Д., Блакли Р. Ю. Тектоно-геофизическая модель Каскадной субдукционной зоны // Геотектоника. – 2001. – № 3. – С. 88–110.
12. Бембель Р. М., Мегеря В. М., Бембель С. Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 344 с.
13. Блинов В. Ф. Растущая Земля: из планет в звезды. – М.: Едиториал УРСС. – 2003. – 272 с.
14. Гатаулин Р. М., Адиев Я. Р., Сейсмические образы “троп” вертикальной миграции флюидов как цилиндрические зоны коллапса // Геофизика. – 2003. – № 1 – С. 209–211.
15. Результаты применения новых технологий электромагнитных зондирований на юге Сибирской платформы / В. А. Кондратьев [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 8–9. – С. 26–28.
16. Мартъянов Н.Е. Размышления о пульсациях Земли – Красноярск: КНИИГиМС, 2003. – 272 с.
17. Сысоев Б. К., Шейнкман А. Л. Использование детальных магнитотеллурических зондирований для поиска малоразмерных залежей в фундаменте // Физика Земли. – 2007. – № 4. – С. 43–47.
18. Тимурзиев А. И. К созданию новой парадигмы нефтегазовой геологии на основе глубинно-фильтрационной модели нефтегазообразования и нефтегазонакопления // Геофизика. – 2007. – № 4. – С. 49–60.
19. Zhang K., Yan J. A 3D magnetotelluric inversion system with a theoretical assessment in oil and gas exploration // Acta Geologica Sinica (English Edition). – 2015. – Vol. 89, Issue s1. – P. 434–436. DOI: 10.1111/1755-6724.12307_11

References

1. Averbukh, A. G., Arapova, A. I., Akhmetova, E. R., Garnov, A. V., Graf, S. Yu., Gritsenko, A. M.,... Oberemechenko, I. S. (2007). Detailed 3D Seismic Studies of Crystalline Basement Structure and Reservoir Properties. Russian Geophysics, (4), pp. 66-73. (In Russian).
2. Spichak, V. V. (2007). Modeling of magnetotelluric fields in 3-D media. Methods in Geochemistry and Geophysics, 40, pp. 313-350. (In English).
3. Kuznetsov, V. A. (2005). Normalization of magnetotelluric sounding curves distorted by the S effect. Izvestiya. Physics of the Solid Earth, 41(7), pp. 594-598. (In English).
4. Ogaya, X., Alcalde, J., Marzán, I., Ledo, J., Queralt, P., Marcuello, A.,... Benjumea, B. (2016). Joint interpretation of magnetotelluric, seismic, and well-log data in Hontomín (Spain). Solid Earth, (7), pp. 943-958. (In English). DOI: 10.5194/se-7-943-2016
5. Berdichevsky, M. N., Dmitriev, V. I. (2008). Models and methods of magnetotellurics. Berlin, Springer-Verlag, 576 p. (In English).
6. Berdichevsky, M. N., & Zhdanov, M. S. (1984). Advanced theory of deep geomagnetic sounding. Amsterdam, Elsevier, 408 p. (In English).
7. Dortman, N. V., & Fiveg, S. M. (1992). Udel'noe elektricheskoe soprotivlenie mineralov i gornykh porod. Petrofizika. Spravochnik. V trekh knigakh. Kniga pervaya. Gornye porody i poleznye iskopaemye. Mocsow, Nedra Publ., pp. 183-204. (In Russian).
8. Chave, A. D., & Jones, A. G. (Eds.). (2012). The magnetotelluric method theory and practice. New York, Cambridge University Press, 604 p. (In English).
9. Barashkov, A. S., & Dmitriev, V. I. (1987). Ob obratnoy zadache glubinnogo magnitotelluricheskogo zondirovaniya. Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences, 295(1), pp. 83-86. (In Russian).
10. Barashkov, A. S. (1986). Vosstanovlenie elektromagnitnykh poley na poverkhnosti Zemli po tenzoru impedansa. Fizika Zemli, (5), pp. 43-52. (In Russian).
11. Romanyuk, T. V., Muni, V. D., Blakli, R. Yu. (2001). Tektono-geofizicheskaya model' Kaskadnoy subduksionnoy zony. Geotektonika, (3), pp. 88-110.
12. Bembel, R. M., Megerya, V. M., Bembel, S. R. (2003). Geosolitony: funktsional'naya sistema Zemli, kontseptsiya razvedki i razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodov. Tyumen, Vektor Buk Publ., 344 p. (In Russian).
13. Blinov, V. F. The growing Earth: from planets to stars. Moscow, Editorial URSS, 272 p. (In Russian).

14. Gataulin, R. M. & Adiev, Ya. R. (2003). Seismicheskie obrazy "trop" vertikal'noy migratsii flyuidov kak tsilindricheskie zony kollapsa. Russian Geophysics, (1), pp. 209-211. (In Russian).
15. Kondrat'ev, V. A., Pospееv, A. V., Agafonov, Yu. A., Pashevin, A. M., & Ol'khovik, E. A. (2004). Rezul'taty primeneniya novykh tekhnologiy elektromagnitnykh zondirovaniy na yuge Sibirskoy platform. Prospect and protection of mineral resources, (8-9), pp. 26-28. (In Russian).
16. Mart'yanov, N. E. (2003). Razmyshleniya o pul'satsiyakh Zemli. Krasnoyarsk, KNII-GiMS Publ., 272 p. (In Russian).
17. Sysoev, B. K., & Sheinkman, A. L. (2007). Application of detailed magnetotelluric sounding to prospecting for small-size deposits of hydrocarbons in the basement. Izvestiya. Physics of the Solid Earth, 43(4), pp. 304-308. (In English).
18. Timurziyev, A. I. (2007). New Paradigm of Oil and Gas Geology Based on deep filtration model of fluid formation and accumulation. Russian Geophysics, (4), pp. 49-60. (In Russian).
19. Zhang, K., & Yan, J. (2015). A 3D magnetotelluric inversion system with a theoretical assessment in oil and gas exploration. Acta Geologica Sinica (English Edition), 89(s1), pp. 434-436. (In English). DOI: 10.1111/1755-6724.12307_11

Сведения об авторах

Сысоев Борис Константинович, геофизик, ООО «МТелл», г. Тюмень

Ягафаров Алик Каюмович, д. г.-м. н., профессор, академик РАН, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Арсан Шади Арсанович, аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: shadiarsan@geologist.com

Худяков Денис Сергеевич, инженер, ООО «МТелл», г. Тюмень

Information about the authors

Boris K. Sysoev, Geophysicist, MTell LLC, Tyumen

Alik K. Yagafarov, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Industrial University of Tyumen

Shadi A. Arsan, Postgraduate at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, e-mail: shadiarsan@geologist.com

Denis S. Khudyakov, Engineer, MTell LLC, Tyumen