

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 12.02.2025 г.

Принята к публикации 06.03.2025 г.

EDN: TLUTSP

УДК 553.98:550.834:519(268.55)

Алексеев Е.П., Попов Б.Л.

Санкт-Петербургский филиал ФГБУ «ВНИГНИ», Санкт-Петербург, Россия,
alekseev@vnigni.ru, poboleo@mail.ru

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ В ПРЕДЕЛАХ ШЕЛЬФА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ДЕТАЛЬНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

Представлены результаты детальной интерпретации данных надводной гравиметрии и дифференциальной магнитометрии морских геофизических работ с целью оценки перспективности на залежи углеводородов локальных объектов, выделенных по материалам сейсморазведки в пределах шельфа Восточно-Сибирского моря.

Рассмотрен пример интерпретации морских наблюдений по фрагменту профиля в районе вала Вольнова, иллюстрирующий эффективность применения предлагаемой методики интерпретации.

Ключевые слова: *морские геофизические работы, интерпретация потенциальных полей, перспективность локальной структуры, залежь углеводородов, вал Вольнова, шельф Восточно-Сибирского моря.*

Для цитирования: Алексеев Е.П., Попов Б.Л. Оценка перспективности локальных структур на углеводородное сырье в пределах шельфа Восточно-Сибирского моря на основе детальной интерпретации потенциальных полей // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №1. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/9_2025.html EDN: TLUTSP

В 2022-2023 гг. в пределах шельфа Восточно-Сибирского моря силами Мурманской Арктической Геофизической Экспедиции (МАГЭ) в рамках выполнения региональных геологоразведочных работ ФГБУ «ВНИГНИ» проводился комплекс геофизических работ с целью изучения регионального геологического строения и структурного плана исследуемой территории для оценки перспектив нефтегазоносности. Комплекс работ включал сейсморазведочные, магниторазведочные и гравиразведочные исследования. По результатам сейсморазведочных работ выделен ряд перспективных на углеводороды (УВ) локальных объектов (структур).

Сейсморазведочные методы отраженных волн и общей глубинной точки, безусловно, являются ведущими геофизическими методами поиска и разведки нефти и газа. Однако они нередко характеризуются недостаточной эффективностью, связанной с проблемами, возникающими при использовании сейсморазведки в сложных геологических условиях, и определенными неоднозначностями при интерпретации результатов сейсморазведки [Гололобов, Катлеров, 2004]. Так, несмотря на достигнутые успехи в разработке методик и

комплексов обработки и интерпретации данных сейсморазведки, а также применения современной регистрирующей аппаратуры, успешность прогноза залежей УВ только по материалам сейсморазведки остается недостаточно высокой. Ситуация усугубляется в том случае, когда работы проводятся на территории распространения сложнопостроенных ловушек в пределах нефтегазоносных горизонтов, расположенных в зонах контакта осадочного чехла и фундамента, юрских и нижнемеловых отложений, что часто встречается в Западной Сибири [Меркулов, 2002].

Поэтому для повышения достоверности сейсмических исследований и подтверждения перспективности на залежи УВ локальных объектов, выделенных сейсморазведкой, целесообразно использовать *комплекс несейсмических геофизических методов*. В общем случае такой комплекс содержит *гравиразведку* [Гравиразведка..., 1990; Сусанина, 2011], *магниторазведку* [Безукладнов, Мавричев, 1997; Меркулов, 2002], а также *электроразведку* методом вызванной поляризации (например, методом дифференциально-нормированной электроразведки [Легейдо, 1998; Иванов, 2015]).

Как отмечалось выше, в рамках проведения морских геофизических работ на шельфе Восточно-Сибирского моря, кроме сейсмических исследований, выполнены грави- и магниторазведочные исследования - профильные наблюдения надводной гравиметрии и дифференциальной магнитометрии, которые отличаются весьма дискретным шагом наблюдений (примерно 2,5 и 2 м соответственно).

Согласно техническому (геологическому) заданию, обработка и интерпретация полевых материалов потенциальных полей (ПП) осуществлялись в масштабе 1: 500 000, отвечающему изучению регионального геологического строения и структурного плана исследуемой территории. Поэтому исходные данные наблюдений ПП по профилям с шагом менее 2,5 м приведены к шагу 500 м, что более соответствует требуемому масштабу рассмотрения.

По результатам осуществлённой интерпретации в масштабе 1: 500 000 с использованием математического моделирования (даже при разреженном до 500 м шаге по профилю) по гравиметрическим данным в ряде случаев на уровне осадочного чехла выделены локальные объекты пониженной плотности, которые предположительно могли бы соответствовать положению крупных залежей УВ. Но для подтверждения или опровержения перспективности выделенных структур с более достоверным определением их морфологии и глубины залегания требуется проведение более детальной (в масштабе рассмотрения 1: 200 000) интерпретации поля силы тяжести совместно с новыми сейсморазведочными данными. Тем более, что реальный шаг полевых наблюдений и качество исходных данных позволяют это сделать. При этом особое внимание следует уделять участкам профилей,

отмеченных перспективными на УВ.

Целесообразность постановки таких, более детальных работ обусловлена тем, что в *поле силы тяжести* характерными локальными минимумами, величина которых зависит от размеров залежи УВ, могут отмечаться отдельные месторождения. Так, например, Е.А. Мудрецовой отмечен целый ряд закономерностей отображения залежей УВ [Гравиразведка..., 1990]:

- Всем без исключения залежам и месторождениям УВ в гравитационном поле соответствуют характерные локальные отрицательные аномалии, которые имеют резко градиентные крылья и коррелируются от профиля к профилю.

- Амплитуды локальных отрицательных аномалий достигают $0,1 \div 0,3$ мГал для газа и $0,05 \div 0,15$ мГал для нефти; в случае многопластового месторождения суммарный эффект может достигать величины 1 мГал и более.

- Как правило, отображение залежей УВ практически не зависит от сложности геологического строения района исследований, типа ловушки и коллектора, глубины залегания залежей. Исключение составляют области развития трапповых полей, зон термокарстов и некоторые другие.

- В подавляющем большинстве случаев контурам локальных минимумов поля силы тяжести, определенным по зонам резких горизонтальных градиентов, соответствуют контуры залежей и месторождений нефти и газа.

- «Пустые» структуры антиклинального типа не сопровождаются в поле силы тяжести характерными для залежи минимумами.

Залежи УВ могут отражаться, хотя и опосредованно, в *аномальном магнитном поле (АМП)*. Из практики геолого-геофизических исследований известно, что над месторождениями нефти и газа развиты ореолы рассеяния флюидов УВ ([Березкин, Киричек, Кунарев, 1978; Еремин, 1986; Бродовой, 1991] и др.). Эти флюиды воздействуют на вмещающие и перекрывающие залежь породы, что приводит к изменению их первичного состава за счет развития эпигенетических минералов. При этом, магнитные свойства пород верхней части разреза в значительной мере зависят от окислительно-восстановительной активности среды. Под влиянием УВ возможно появление вторичного магнетита в зоне окисления над залежью и, как следствие, увеличение магнитной восприимчивости горных пород. Эффекты влияния залежей на АМП (ΔT_a) могут проявляться в виде локальных аномалий (ΔT_a), наложенных на плавно меняющийся фон средне- и низкочастотных аномалий, обусловленных более глубинными объектами. Амплитуда таких локальных аномалий может достигать нескольких единиц и более нанотесл, что позволяет в ряде случаев фиксировать их даже при аэромагнитной съёмке [Безукладнов, Мавричев, 1997;

Каштанов, 1988].

Заявленная исполнителями морских работ (МАГЭ) погрешность исходных данных надводной гравиметрии составляет $\pm(0,14\div 0,15)$ мГал, а гидромагнитометрической съёмки – $\pm 3,8$ нТл. Указанные погрешности (с учётом ожидаемых аномальных эффектов) могут обеспечить, в рассматриваемом случае, выявление не только многопластового месторождения, но и крупной залежи УВ. Погрешность исходных данных может быть несколько снижена путём учёта случайной погрешности морских наблюдений с использованием программы *LinAn* [Овсов, 2005], что будет продемонстрировано ниже.

В качестве примера на рис. 1 приведены результаты детальной интерпретации данных ПП полей морских работ по фрагменту профиля 2208 (интервал пикетов 363-465 км) в пределах вала Вольнова с целью локализации предполагаемых объектов УВ в границах контуров локальных перспективных структур, выделенных по данным сейсморазведки методами отраженных волн и общей глубинной точки.

На указанном фрагменте профиля данные наблюдений морской гравимагнитной съёмки приведены к шагу – 100 м, что обеспечило детальность исследований масштаба 1:200000. Массивы исходных наблюдений ПП (с шагом 100 м) проанализированы с использованием программы *LinAn*. В результате анализа массивы ПП разделены на их естественные структурные компоненты, по которым отобраны локальные составляющие ПП, характеризующие преимущественно уровень осадочного чехла.

Самые высокочастотные («шумовые») компоненты характеризуют случайные погрешности полевых наблюдений (см. рис. 1). Их амплитуды могут достигать $\pm 0,1$ мГал для АПП и $\pm 1,0$ нТл для АМП, что сопоставимо с погрешностью исходных данных. Эти компоненты исключены из соответствующих исходных полей, в результате чего получены более качественные (с учётом случайной погрешности) локальные составляющие $\Delta G_{\text{лок}}$ и $\Delta T_{\text{лок}}$, которые в дальнейшем использовались при модельных расчётах. Приемлемое качество материала для интерпретации в целом подтверждается конформностью графиков $\Delta G_{\text{лок}}$ и $\Delta T_{\text{лок}}$ вдоль линии профиля, что свидетельствует о геологической природе анализируемых аномалий ПП (даже для поля $\Delta T_{\text{лок}}$, характеризующегося сопоставимостью амплитуд локальных аномалий магнитного поля и уровнем погрешности исходных данных в западной части рассматриваемого фрагмента профиля).

Математическое моделирование выполнялось методом подбора с применением программы GM-SYS фирмы GeoSoft.

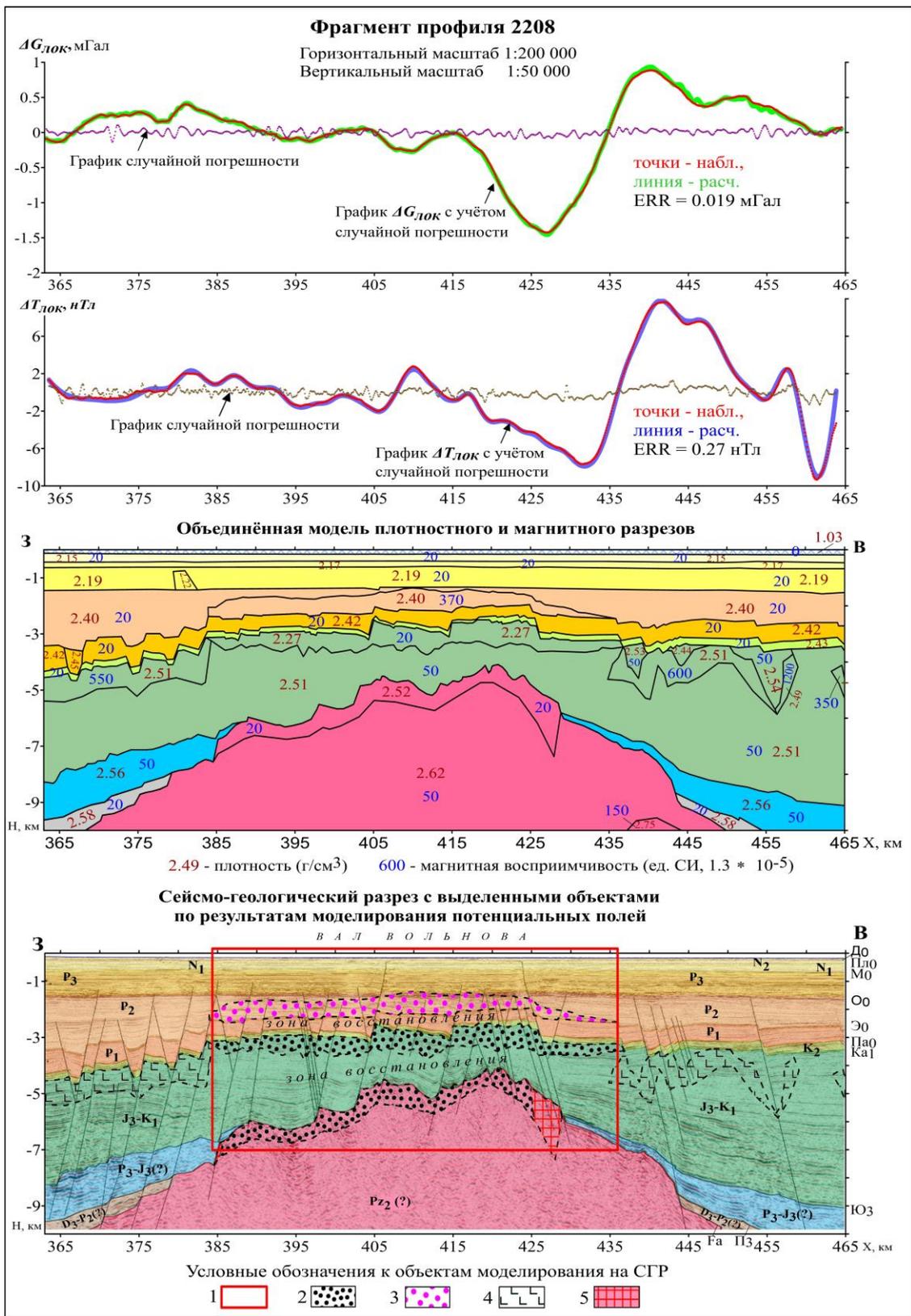


Рис. 1. Результаты детальной интерпретации потенциальных полей по фрагменту ПР 2208 в пределах контуров локальных перспективных объектов, выделенных по данным сейсморазведки методами отраженных волн и общей глубинной точки, на шельфе Восточно-Сибирского моря (вал Вольнова)

1 - границы контуров локальных перспективных объектов по данным сейсморазведки; 2 - локальные объекты пониженной плотности, перспективные на залежи УВ; 3 - зона окисления над залежами УВ (ореол вторичного магнетита); 4 - предполагаемые вулканические образования базальтов; 5 - зоны повышенной трещиноватости.

Исходная (для метода подбора) модель строго соответствовала глубинному сейсмогеологическому разрезу рассматриваемого фрагмента профиля (см. рис. 1). Значения плотности отдельных слоёв определялись с помощью известных зависимостей «скорость – плотность» для осадочной толщи с использованием глубинного распределения величин интервальных скоростей в пределах изучаемого фрагмента профиля. Значения магнитной восприимчивости принимались согласно характеру АМП и вещественному составу (физических свойств) пород. В исходную модель также включены границы и глубины залегания предполагаемых перспективных структур, выделенных по данным сейсморазведки.

В процессе моделирования учитывались закономерности отображения предполагаемых структур, перспективных на залежи УВ, в поле силы тяжести и зон эпигенетического преобразования пород над залежами УВ в АМП (см. выше). В результате моделирования на разрезе выделены два локальных объекта пониженной плотности с зоной относительно повышенной магнитной восприимчивости над ними (зоной окисления) в среднем палеогене.

Один из них с дефицитом плотности $0,10 \text{ г/см}^3$ располагается в кровле акустического фундамента **Фа**. Другой объект приурочен к подошве кампанских отложений **Ка1** (дефицит плотности $0,24 \text{ г/см}^3$). Они характеризуются амплитудой (вертикальной мощностью) от нескольких сотен до тысячи и более метров. Рассматриваемые субгоризонтальные тела по границам контуров локальных перспективных структур вдоль линии профиля и по глубине залегания в целом соответствуют сейсмическим построениям.

Амплитуды локальных отрицательных аномалий $\Delta G_{\text{лок}}$ изменяются от $0,1-0,3$ до 1 мГал и более.

Следует отметить, что поскольку исследования проходили в классе эквивалентных моделей, поэтому вертикальная мощность и дефицит плотности выделенных объектов могут варьировать, а их геометрические и плотностные параметры - несколько отличаться от параметров, приведённых на разрезе. В ряде случаев отдельные фрагменты рассматриваемых объектов могут быть представлены горными породами повышенной трещиноватости в зонах разломов, что может привести к неоднозначному истолкованию результатов интерпретации по данным гравиразведки.

Тем не менее, полученные результаты детальной интерпретации с высокой степенью вероятности подтверждают наличие на рассматриваемом фрагменте профиля 2208 прогнозируемых по данным сейсморазведки локальных перспективных структур. Аномальные значения локальной составляющей поля силы тяжести $\Delta G_{\text{лок}}$ над ними могут превышать $(0,5 \div 1,0)$ мГал (относительно фоновых величин за пределами их контуров в районе пикетов 380 и 440 км). Рассматриваемые локальные объекты могут включать

достаточно крупные многопластовые залежи УВ [Гравиразведка..., 1990]. Такой вывод, хотя и менее уверенно, подтверждается развитием выделенных зон восстановления (относительное снижение магнитной восприимчивости горных пород) и окисления (увеличение магнитной восприимчивости) над предполагаемыми залежами (см. рис. 1) в соответствии с моделью эпигенетического преобразования пород (см. выше).

Приведённые материалы иллюстрируют эффективность применения предлагаемой методики детальной интерпретации данных морских гравимагнитных работ с целью оценки (подтверждения) перспективности локальных объектов, выделенных лишь по материалам сейсморазведки.

Представленная авторами методика детальной интерпретации данных ПП опробована лишь на одном из профилей объекта исследований. Представляется целесообразным оценить перспективность выявленных сейсморазведкой локальных структур и на других обработанных профилях по всей площади уже завершённых работ.

Литература

Безукладнов В.А., Мавричев В.Г. Выявление аномалий типа «залежь» по магнитному полю // Геология нефти и газа. - 1997. - №7. - С. 25-29.

Березкин В.М., Киричек М.А., Кунарев А.А. Применение геофизических методов разведки для прямых поисков месторождений нефти и газа. - М.: Недра, 1978. - 223 с.

Бродовой В.В. Комплексирование геофизических методов: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1991. - 330 с.

Гололобов Д.В., Катлеров П.М. Электродинамические методы поиска и оконтуривания углеводородных залежей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. - 2004. - №2. - С. 119-131.

Гравиразведка. Справочник геофизика. 2-е изд., перераб. и доп. / Ред. Е.А. Мудрецова, К.Е. Веселова. - М.: Недра, 1990. - 606 с.

Еремин В.Н. Магнитная зональность осадочных пород и пространственное распределение минералов железа в зонах влияния углеводородов // Геология нефти и газа. - 1986. - №4. - С.28-32.

Иванов С.А., Гарина С.Ю., Кудрявцева Е.О., Ситников А.А. Ключевые моменты развития дифференциально-нормированного метода электроразведки (к 60-летию П.Ю. Легейдо): доклады VII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (г. Иркутск, 14-19 сентября 2015 г.). - 2015. - С. 1-4. - http://expmin.igc.irk.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady

Каиштанов В.А. Локальный нефтепрогноз по данным аэромагнитной съемки // Геология

нефти и газа. - 1988. - №12. - С.7-12.

Легейдо П.Ю. Теория и технологии дифференциально-нормированной геоэлектроразведки для изучения поляризующихся разрезов в нефтегазовой геофизике // Диссертация на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук. - Иркутск, 1998. - 198 с. EDN: [ZKJWIZ](#)

Меркулов В.П. Магнитные поля месторождений нефти и газа и возможности их использования при картировании залежей углеводородов // Известия Томского политехнического университета. - 2002. - Т. 305. - № 6. - С. 218-224.

Овсов М.К. Морфологический анализ геофизических полей // Новые идеи в науках о земле: тезисы докладов VII Международной конференции. Т.3. - М.: КДУ, 2005. - 325 с.

Сусанина О.М. Прогнозирование нефтегазоперспективных зон в палеозойских отложениях Западной Сибири по комплексу геофизических данных // Формула успеха в разведке и разработке месторождений нефти и газа: материалы X конференции (22-23 июня 2011 г.). - М.: ЗАО «Пангея», 2011.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 12.02.2025

Published 06.03.2025

Alekseev E.P., Popov B.L.

St. Petersburg branch of FSBU "VNIGNI", St.-Petersburg, Russia, alekseev@vnigni.ru, poboleo@mail.ru

HYDROCARBON PROSPECTS ASSESSMENT OF LOCAL STRUCTURES WITHIN THE EAST SIBERIAN SEA SHELF, BASED ON A COMPREHENSIVE INTERPRETATION OF THE GEOPHYSICAL POTENTIAL FIELDS

The results of a detailed interpretation of surface gravimetry and differential magnetometry data from marine geophysical activity are presented in order to assess the prospects for hydrocarbon accumulations of local objects identified based on seismic exploration data within the East Siberian Sea shelf.

An example of interpreting marine observations for a profile section in the Volnov swell area is considered, illustrating the effectiveness of the proposed interpretation technique.

Keywords: *marine geophysical activity, interpretation of the geophysical potential fields, prospects of a local structure, hydrocarbon accumulation, Volnov swell, East Siberian Sea shelf.*

For citation: Alekseev E.P., Popov B.L. Izuchenie mnogoletnemerzlykh porod Bykovskogo poluoostrova laboratornymi metodami dielektricheskoy spektroskopii i yadernogo magnitnogo rezonansa [Hydrocarbon prospects assessment of local structures within the East Siberian Sea shelf, based on a comprehensive interpretation of the geophysical potential fields]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2025, vol. 20, no. 1, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/9_2025.html EDN: TLUTSP

References

Berezkin V.M., Kirichek M.A., Kunarev A.A. *Primenenie geofizicheskikh metodov razvedki dlya pryamykh poiskov mestorozhdeniy nefi i gaza* [Application of geophysical exploration methods for direct prospecting of oil and gas fields]. Moscow: Nedra, 1978, 223 p. (In Russ.).

Bezukladnov V.A., Mavrichiev V.G. Vyyavlenie anomalii tipa «zalezh'» po magnitnomu polyu [Detection of "accumulation" type anomalies by magnetic field]. *Geologiya nefi i gaza*, 1997, no. 7, pp. 25-29. (In Russ.).

Brodovoy V.V. *Kompleksirovanie geofizicheskikh metodov: Uchebnik dlya vuzov* [Integration of geophysical methods: A textbook for universities. Integration of geophysical methods: A textbook for universities]. Moscow: Nedra, 1991, 330 p. (In Russ.).

Eremin V.N. Magnitnaya zonal'nost' osadochnykh porod i prostranstvennoe raspredelenie mineralov zheleza v zonakh vliyaniya uglevodorodov [Magnetic zonality of sedimentary rocks and spatial distribution of iron minerals in the zones of influence of hydrocarbons]. *Geologiya nefi i gaza*, 1986, no. 4, pp. 28-32. (In Russ.).

Gololobov D.V., Katlerov P.M. Elektrodinamicheskie metody poiska i okonturivaniya uglevodorodnykh zalezhey [Electrodynamic methods of prospecting and contouring of hydrocarbon accumulations]. *Doklady Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta informatiki i radioelektroniki*, 2004, no. 2, pp. 119-131. (In Russ.).

Gravirazvedka. Spravochnik geofizika. 2-e izd., pererab. i dop. [Gravity exploration. Handbook of Geophysics. 2nd ed., revised and add.]. Red. E.A. Mudretsova, K.E. Veselova. Moscow: Nedra, 1990, 606 p. (In Russ.).

Ivanov S.A., Garina S.Yu., Kudryavtseva E.O., Sitnikov A.A. Klyuchevye momenty razvitiya differentsial'no-normirovannogo metoda elektrorazvedki (k 60-letiyu P.Yu. Legeydo) [Key points in the development of the differential-normalized method of electrical exploration (to mark the 60th anniversary of P.Yu. Legeido)]. *doklady VII Vserossiyskoy shkoly-seminara po elektromagnitnym zondirovaniyam zemli imeni M.N. Berdichevskogo i L.L. Van'yana (Irkutsk, 14-19 Sept 2015)*. 2015,

pp. 1-4, available at: http://expmin.igc.irk.ru/ems2015/ru/ems2015_doklady (In Russ.).

Kashtanov V.A. Lokal'nyy nefteprognoz po dannym aeromagnitnoy s"emki [Local oil forecast based on aeromagnetic survey data]. *Geologiya nefi i gaza*, 1988, no. 12, pp. 7-12. (In Russ.).

Legeydo P.Yu. Teoriya i tekhnologii differentsial'no-normirovannoy geoelektrozvedki dlya izucheniya polarizuyushchikhsya razrezov v neftegazovoy geofizike [Theory and technologies of differential-normalized geoelectric exploration for the study of polarizing sections in petroleum geophysics]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk*. Irkutsk, 1998, 198 p. (In Russ.). EDN: [ZKJWIZ](#)

Merkulov V.P. Magnitnye polya mestorozhdeniy nefi i gaza i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya pri kartirovani zalezhey uglevodorodov [Magnetic fields of petroleum fields and the possibility of their use in mapping hydrocarbon accumulations]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2002, vol. 305, no. 6, pp. 218-224. (In Russ.).

Ovsov M.K. Morfologicheskiy analiz geofizicheskikh poley [Morphological analysis of geophysical fields]. *Novye idei v naukakh o zemle: tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoy konferentsii*. Moscow: KDU, 2005, vol. 3, 325 p. (In Russ.).

Susanina O.M. Prognozirovani neftegazoperspektivnykh zon v paleozoyskikh otlozheniyakh Zapadnoy Sibiri po kompleksu geofizicheskikh dannykh [Forecasting of oil and gas prospective zones in the Paleozoic strata of Western Siberia based on a set of geophysical data]. *Formula uspekha v razvedke i razrabotke mestorozhdeniy nefi i gaza: materialy X konferentsii (22-23 June 2011)*. Moscow: ZAO «Pangeya», 2011. (In Russ.).