

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИСТАНЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УЧАСТКАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ХРАНИЛИЩ НЕФТЕПРОДУКТОВ

С.П. Левашов^{1,2}, И.Г. Зезекало³, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин⁴, Д.Н. Божежа²

¹*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, пер. Лабораторный, 1, Киев 01133, Украина*

²*Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, пер. Лабораторный, 1, Киев 01133, Украина*

³*ООО “Надраспецтехнология”, Площадь независимости, 20, Полтава 36003, Украина*

⁴*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, Киев 03680, Украина, e-mail: korchagin@karbon.com.ua*

Анализируются результаты исследований с использованием мобильных прямопоисковых методов на территориях подземного и наземного хранилищ нефтепродуктов. На первом этапе обследования подземного хранилища дизельного топлива выполнена частотно-резонансная обработка спутникового снимка участка его расположения. На втором этапе на площади хранилища проведены наземные детализационные работы геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ. В результате обнаружены и закартированы остатки дизельного топлива в двух подземных емкостях (резервуарах) в объемах 5621 и 243 м³. В зонах других емкостей остатки нефтепродуктов не выявлены. На участке работ установлен и локализован вертикальный канал миграции глубинных флюидов, по которому газ и “легкая нефть” нагнетаются по тектоническим нарушениям на территорию хранилища. На площади наземного хранилища обнаружено и закартировано 12 аномальных зон на резонансных частотах проб топлива из пробуренных скважин. В контурах аномальных зон по значениям интенсивности аномального отклика выделены наиболее перспективные участки для бурения скважин с целью извлечения «утраченного» топлива. Наличие техногенных скоплений топлива в контурах выявленных аномальных зон подтверждено бурением.

Ключевые слова: хранилище нефтепродуктов, топливо, нефть, газ, скважина, спутниковые данные, прямые поиски, геоэлектрические методы, аномалия типа “залежь”, обработка данных дистанционного зондирования Земли, интерпретация, вертикальный канал.

Введение. Мобильная прямопоисковая технология, включающая в себя метод частотно-резонансной обработки и декодирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (спутниковых снимков) [4–7], а также наземные геоэлектрические методы становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) [3, 6, 11] активно применяются для поисков рудных и горючих полезных ископаемых, а также оперативного решения разнообразных задач приповерхностной геофизики. В частности, мобильные методы СКИП и ВЭРЗ неоднократно использовались при решении задач: а) поисков и картирования водоносных и водонасыщенных горизонтов, залежей минеральных и геотермальных вод; б) выявления и картирования зон повышенного увлажнения грунтов, подземных водных потоков техногенного и естественного происхождения, утечек из подземных водных коммуникаций; в) изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий и мониторинга за их изменением

на территориях расположения исторических и архитектурных памятников, зданий и заповедников; г) проведения инженерно-геологических исследований на площадках строительства мостов, линий метро приповерхностного залегания, промышленных сооружений, жилых зданий и объектов социального и культурного назначения и др. В настоящей статье представлены и анализируются некоторые интересные результаты применения в 2015–2016 гг. отдельных компонент (методов) технологии на локальных участках расположения хранилищ нефтепродуктов.

Объекты изучения и задачи исследований. Обследованные подземное и наземное хранилища нефтепродуктов находятся в центральной части Украины. Наиболее полный комплекс исследований (дистанционных и наземных) проведен в несколько этапов на территории расположения подземного хранилища нефтепродуктов.

Основная задача экспериментальных исследований — обнаружение и оконтуривание скоплений

нефтепродуктов в значительных объемах для их последующего извлечения и утилизации.

Подземные емкости (резервуары) для хранения нефтепродуктов находятся в теле соляного купола на глубинах 600–700 м. На первом этапе работ выполнена частотно-резонансная обработка спутникового снимка участка расположения хранилища [4–7] с целью выбора наиболее перспективных емкостей для детального обследования. На втором этапе на территории хранилища проведены наземные детализационные работы с использованием геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ [3, 6, 11].

Основная цель наземных геоэлектрических работ состояла в выявлении остатков нефтепродуктов в подземных емкостях, которые невозможно поднять на поверхность традиционными применяемыми способами. В процессе выполнения полевых работ определялись контуры скоплений нефтепродуктов на площади и глубины их расположения в разрезе, проводилась оценка их количества (объема). Методом СКИП устанавливалось наличие нефтепродуктов в геологическом разрезе и выполнялось картирование пятен нефтепродуктов. Методом вертикального зондирования определялись конкретные глубины расположения остатков нефтепродуктов.

На площади наземного хранилища нефтепродуктов осуществлен только первый этап исследований – проведена обработка спутникового снимка с целью обнаружения и картирования зон скопления нефтепродуктов (техногенных залежей) в верхней части разреза.

Методы исследований. Отдельные компоненты прямопоисковой технологии (метод частотно-резонансной обработки и интерпретации данных ДЗЗ [4–7] и наземные геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ [3, 6, 11]) базируются на принципах “вещественной” парадигмы геофизических исследований [6], сущность которой заключается в поиске конкретного (искомого в каждом отдельном случае) вещества – нефти, газа, газоконденсата, золота, железа, воды и др. Отличительные особенности, а также потенциальные возможности мобильных методов описаны в многочисленных публикациях и отчетах по выполненным исследованиям, в том числе в работах [3–7]. В статье [7] детально охарактеризованы этапы проведения поисковых работ, а также перечислены результаты, которые могут быть получены на каждом из этапов. Особенности проведения работ на различных этапах (в лаборатории и в поле) демонстрирует видеофильм, размещенный на сайте [13]. В презентации на этом же сайте приведены многочисленные результаты практического применения описанных прямопоисковых методов.

Вопросы теоретического обоснования применяемых методов исследований обсуждены в работах [11, 12].

Подземное хранилище нефтепродуктов. На территории хранилища исследования проведены в районе 9 подземных емкостей дизельного топлива (ДТ) в несколько этапов.

Частотно-резонансный анализ спутникового снимка участка. Спутниковый снимок участка расположения хранилища обработан в масштабе 1:2000 (рис. 1).

Для каждой подземной емкости определены контуры “водных пятен”, которые предположительно совпадают с контурами емкостей, заполненных водой. В этих контурах для подземных емкостей 8Е, 10Е и 3Е выявлены аномальные зоны типа “дизельное топливо (ДТ)”. В центральных точках аномалий “ДТ” проведено вертикальное сканирование разреза для определения интервалов глубин вероятного нахождения дизельного топлива (рис. 1).

Сканированием на участке емкости 8Е установлены следующие интервалы глубин: 25–186 м – ДТ + вода; 186–616 м – соль; 616–735 м – вода; более 735 м – соль. Следовательно, аномальная зона “ДТ” в районе емкости 8Е образовалась в результате разлива или утечки ДТ и его попадания в почву. Почва в интервале до соляного штока содержит остатки топлива. В самой емкости его остатки не определены. Емкость не перспективна для проведения поисковых работ на “утраченное” топливо.

Сканирование в контуре емкости 10Е дало следующие результаты: 235–637 м – соль; 637–654 м – ДТ; 654–750 м – вода; более 750 м – соль. В зоне емкости сканированием установлено наличие ДТ, мощность пласта 7 м.

Можно предположить, что при эксплуатации этой емкости использовалась обычная вода, которая могла растворить соль, что привело к формированию зон “слепых карманов”. Ориентировочные размеры “топливного пятна” 20×25 м, $S = 500$ м². Объем остатков топлива в первом приближении оценен, как $V = S \times H/2 = 500 \times 17/2 = 4250$ м³. Зона емкости 10Е перспективна для проведения работ по поиску и изъятию “утраченного” топлива.

Результаты сканирования в пределах емкости 3Е следующие: 25–40 м – ДТ + вода; 287–620 м – соль; 620–750 м – вода; более 750 м – соль. Аномальная зона типа “ДТ” образовалась в контуре емкости 3Е вследствие разлива и утечки топлива в почву. В пределах емкости его наличие не установлено. Емкость не перспективна для проведения поисковых работ на “утраченное” дизельное топливо.

В пределах емкостей 2Е, 4Е, 5Е, 6Е, 7Е, 9Е аномальные зоны типа “ДТ” не зафиксированы. В районе емкости 7Е определена небольшая зона тектонического нарушения, которая фиксируется на резонансных частотах газа. Вполне естественно, что на этом участке существуют условия для попадания (миграции) газа в зону емкости через обнаруженное тектоническое нарушение.

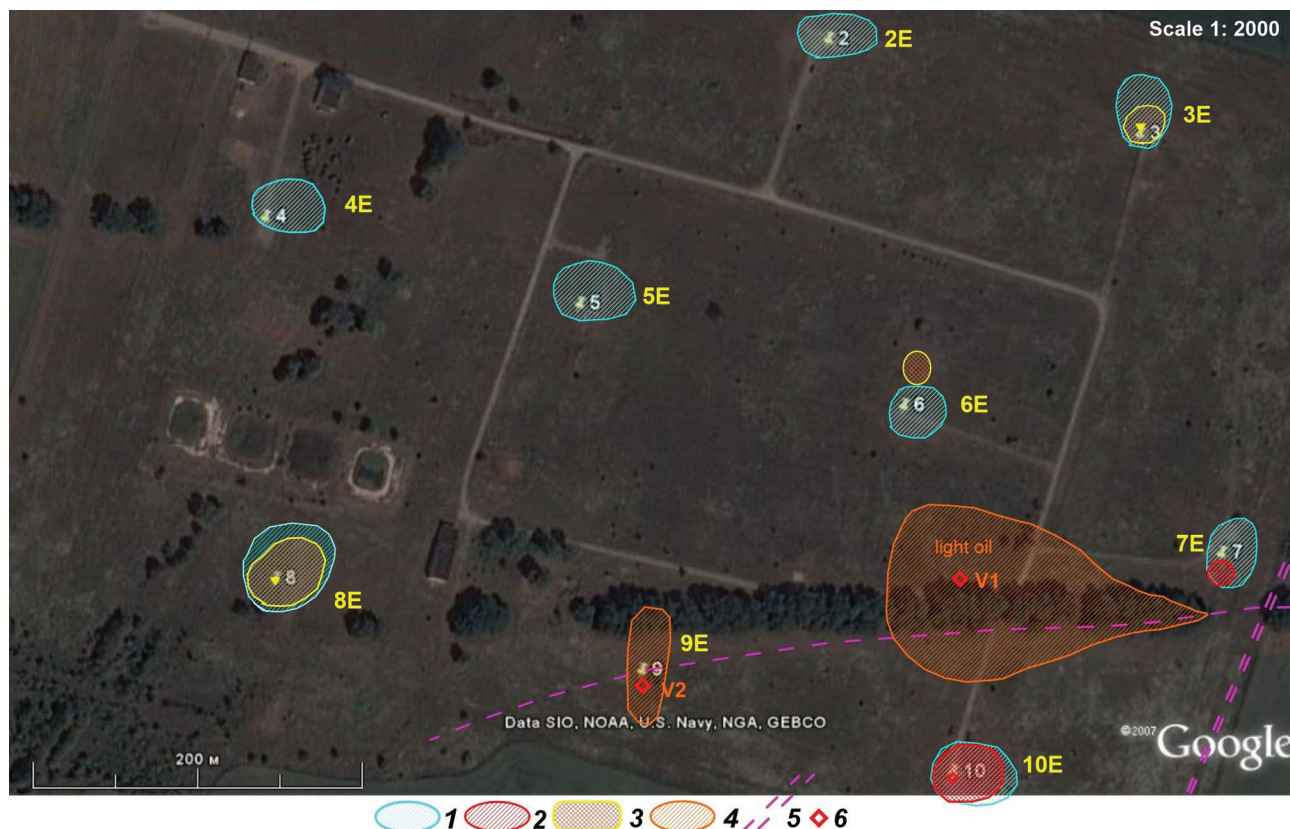


Рис. 1. Схема расположения подземных емкостей нефтепродуктов (дизельное топливо) на спутниковом снимке территории объекта (контуры емкостей определены по данным частотно-резонансного анализа спутниковых снимков): 1 – зоны подземных емкостей, заполненных рассолом; 2 – аномальные зоны типа “дизельное топливо” по данным частотно-резонансного анализа спутникового снимка; 3 – зоны загрязнения верхней части почв потерянными нефтепродуктами; 4 – аномальные зоны типа “легкая нефть”; 5 – тектонически ослабленная зона по резонансным откликам типа “газ”; 6 – точка вертикального сканирования разреза

Fig. 1. The sketch-map of underground storage of petroleum products (TS-1) location on the satellite image of the site (contours of the tanks according to the frequency-resonance analysis of satellite data): 1 – area of underground tanks filled with brine; 2 – anomalous zones of the “TS-1” type according to the frequency-resonance analysis of satellite image; 3 – zone of pollution of the soil top part by the lost oil products; 4 – anomalous zones of the “light oil” type; 5 – tectonically weakened zone by the resonant response of “gas”; 6 – point of the vertical scanning of cross-section

Если при эксплуатации резервуаров вместо соляных растворов использовалась обычная вода, то их геометрические размеры могут быть несколько больше проектных.

Наземные геоэлектрические исследования. В процессе полевых работ в пределах емкости 10Е проведен основной объем геоэлектрических исследований. Нефтяные пятна были зафиксированы и в районе емкостей 7Е и 6Е (рис. 1).

В районе емкости 10Е методом СКИП выявлен контур типа “пятна нефтепродуктов”, в пределах которого выполнены вертикальные зондирования в восьми пунктах. По результатам зондирования построены карта мощности остатков нефтепродуктов в резервуаре (рис. 2) и карта глубин до кровли резервуара (рис. 3).

С помощью компьютерных программ определены площадь распространения ($S = 1124,9 \text{ м}^2$) и объем ($V = 5621,14 \text{ м}^3$) нефтепродуктов.

Глубина верхней кромки остатков нефтепродуктов в центральной части: $H = 591 \text{ м}$. Мощность пласта нефтепродуктов 10,2 м. На глубине

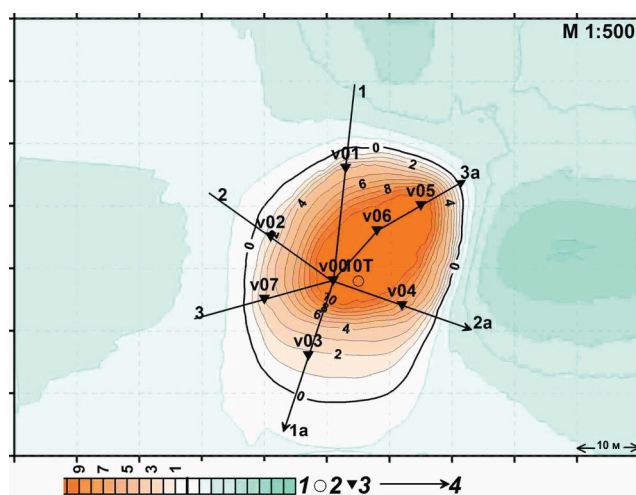


Рис. 2. Карта мощности остатков дизельного топлива в верхней части подземной емкости 10Е: 1 – шкала мощности остатков топлива, м; 2 – скважина; 3 – точка ВЭРЗ; 4 – профиль вертикального разреза

Fig. 2. Map of thickness of diesel fuel residues in the upper part of an underground reservoir 10Е: 1 – the scale of thickness of remaining fuel, m; 2 – well; 3 – VERS points; 4 – profile of vertical cross-section

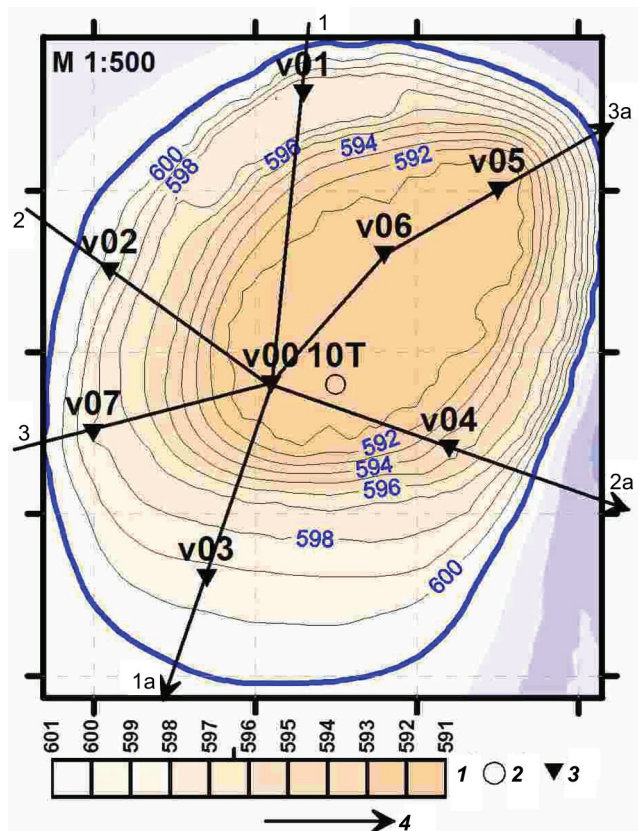


Рис. 3. Карта глубин кровли подземного хранилища дизельного топлива. Емкость 10Е: 1 – шкала глубин до кровли подземной емкости, м; 2 – скважина; 3 – точка ВЭРЗ; 4 – профиль вертикального разреза

Fig. 3. Map of the depths for the roof of underground storage of diesel fuel. The tank 10E: 1 – scale of the depths for the underground tank roof, m; 2 – well; 3 – VERS point; 4 – profile of vertical cross-section

601,2 м установлена зона контакта между нефтепродуктом и водой. Купол резервуара размыт сверху до 10 м и вытянут в северо-восточном на-

правлении. Глубина определялась от поверхности земли, в данном случае – от бетонных плит возле скв. 10Е.

На рис. 4 показан вертикальный разрез верхней части резервуара по данным ВЭРЗ вдоль профиля 3–3а. Такие же разрезы построены вдоль профилей 1–1а и 2–2а. По данным зондирования в отдельных точках построены диаграммы и колонки ВЭРЗ в точках v00, v01 в интервале глубин от поверхности до 700 м.

При проведении полевых работ в районе емкости 7Е определена небольшая зона типа “нефтепродукты”. Зона не была выявлена при анализе спутникового снимка вследствие небольших размеров. Площадь зоны 78,9 м². Зона смещена от скв. 7Е в юго-западном направлении (рис. 5). В центральной части зоны выполнено зондирование. Нефтепродукт определен на глубине 641 м. Мощность зоны нефтепродукта в этой точке 5 м. Ориентировочный объем остатков нефтепродукта 243,87 м³.

В районе емкости 8Е фиксируется пятно нефтепродуктов размерами примерно 50 × 50 м. В центральной точке, возле скважины проведено вертикальное зондирование. Признаки нефтепродукта фиксируются на глубине от 23 до 255 м. В интервале глубин 600–700 м в данной точке нефтепродукт не обнаружен. Таким образом, в большей части аномальная зона могла образоваться вследствие загрязнения верхней части геологического разреза, однако не исключается наличие небольших “карманов” с остатками нефтепродуктов в пределах пятна. Их определение возможно только при детальном зондировании всей площади пятна.

На участке емкости 3Е выявлена зона с нефтепродуктом размерами 20 × 30 м. При зондировании в центральной части зоны нефтепродукт определен

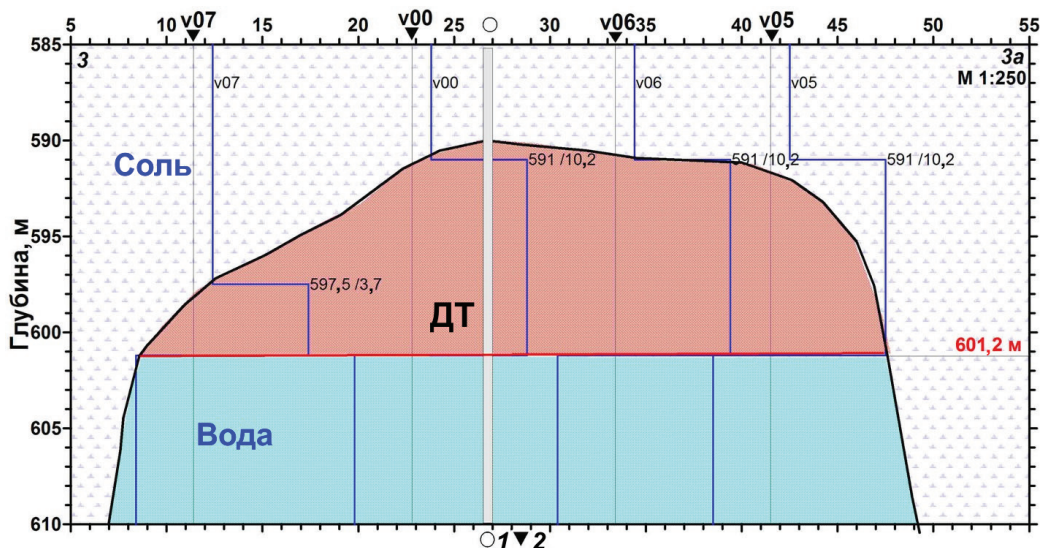


Рис. 4. Вертикальный разрез верхней части подземного хранилища дизельного топлива (ДТ). Резервуар 10Е. Профиль 3–3а. 1 – скважина; 2 – пункт ВЭРЗ

Fig. 4. The vertical cross-section of the top part of the underground storage of diesel fuel (DF). The tank 10E. Profile 3–3a. 1 – well; 2 – VERS point

на глубине 23–32 м. Вероятно, аномальная зона образовалась вследствие загрязнения верхней части разреза при эксплуатации резервуара. В интервале глубин 600–700 м нефтепродукт не зафиксирован.

В 20 м к северу от емкости 6Е определена небольшая зона загрязнения почв нефтепродуктами. Глубины фиксации нефтепродукта 23–32 м. Данное пятно образовалось в результате загрязнения верхней части разреза потерянными нефтепродуктами.

Контурные пятен на участках подземных емкостей 8Е, 3Е и 6Е показаны на спутниковых снимках местности.

Дополнительные исследования в районе подземного хранилища ДТ. После завершения второго этапа исследований на участке подземного хранилища исполнителям работ стала известна следующая дополнительная информация.

1. К концу 2016 г. подземное хранилище как объект планируется закрыть. При этом на его площади не должно быть нефтепродуктов (или их остатков), способных загрязнять окружающую среду.

2. Одна частная “структура” непродолжительное время занималась извлечением остатков топлива (и не без успеха) из подземной емкости 10Е. Отметим, что эта же емкость рекомендована как самая перспективная для извлечения остатков нефтепродуктов по результатам проведенных работ.

3. На территории хранилища возле скважин на отдельных емкостях на протяжении многих лет фиксируются выходы газа на поверхность.

4. В некоторых местах на поверхность просачивается также жидкость, подобная нефти.

5. Ранее при попытке извлечения остатков топлива из емкости 7Е возник пожар – загорелся газ. Пожар продолжался почти два года.

6. На площади хранилища в разрезе, в верхней части соли, встречаются пропластки терригенных пород, которые могут быть коллекторами для газа и нефти.

При частотно-резонансной обработке спутникового снимка в юго-восточной части обследованного участка обнаружена тектонически ослабленная зона, в пределах которой зафиксированы аномальные отклики на резонансных частотах газа (см. рис. 1). Это обстоятельство указывает на возможность миграции газа (и других флюидов) по данной зоне (тектоническому разлому).

В такой ситуации закономерно возникла дополнительная задача (проблема) – установить причину появления газа на территории хранилища, а также обнаружить его источник, т. е. откуда он поступает (мигрирует). С целью решения этой интересной задачи и были проведены дополнительные исследования. Для выполнения работ исполнителям был передан образец жидкости, которая просачивается на поверхность на территории хранилища. Резонансные частоты этой жидкости, определенные в лаборатории, оказались несколько отличными

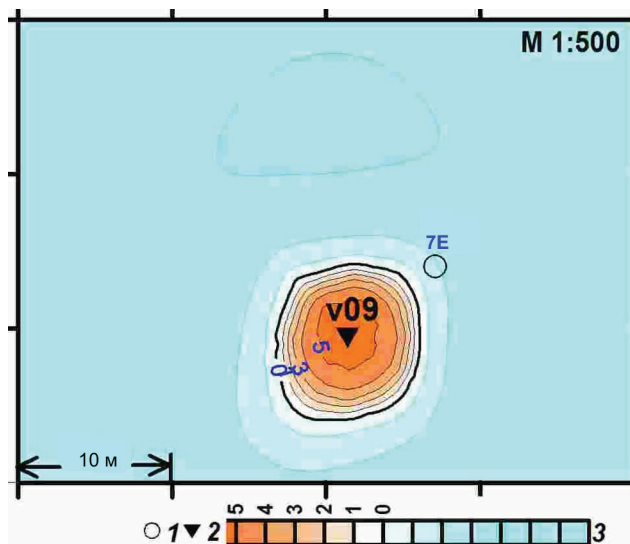


Рис. 5. Карта мощности остатков дизельного топлива в верхней части подземной емкости 7Е (по данным ВЭРЗ): 1 – скважина; 2 – точка ВЭРЗ; 3 – шкала мощности остатков топлива, м

Fig. 5. Map of thickness of diesel fuel residues in the upper part of an underground reservoir 7E (according to the vertical sounding VERS): 1 – well; 2 – VERS point; 3 – scale of thickness of fuel residues, m

от резонансных частот, которые традиционно используются при поисках скоплений нефти и также установлены в лаборатории на многочисленных образцах нефти. Поэтому жидкость названа (условно) “легкой нефтью”.

Дополнительное детальное обследование было проведено на более крупном участке вокруг хранилища, спутниковый снимок которого поместился на лист формата А3 (элемент технологии обработки) в масштабе 1 : 5000 (рис. 6).

На начальном этапе проведения частотно-резонансной обработки спутникового снимка более детально обследована (изучена) ранее обнаруженная тектонически ослабленная зона в юго-восточной части участка (см. рис. 1). В результате удалось выявить и проследить простираение еще двух разломов, которые пересекаются с ранее зафиксированным в одной точке (см. рис. 6).

С учетом полученного опыта обнаружения и локализации вертикальных каналов миграции глубинных флюидов [7] была предпринята попытка обнаружить такой канал и на обследуемой площади. Для этого на участке пересечения установленных тектонических нарушений с очень мелким шагом регистрировались аномальные отклики **на резонансных частотах гелия и водорода**. В результате на этих частотах была зафиксирована небольшая (локальная) аномалия (рис. 6). Пластовое давление в контуре этой аномалии оценено в 32 МПа. **Полученные данные позволяют вполне обоснованно предположить, что в точке пересечения тектонических нарушений расположен вертикальный канал миграции глубинных флюидов (в том числе углеводородов), по которому под большим давлением газ и “легкая нефть” могут “за-**

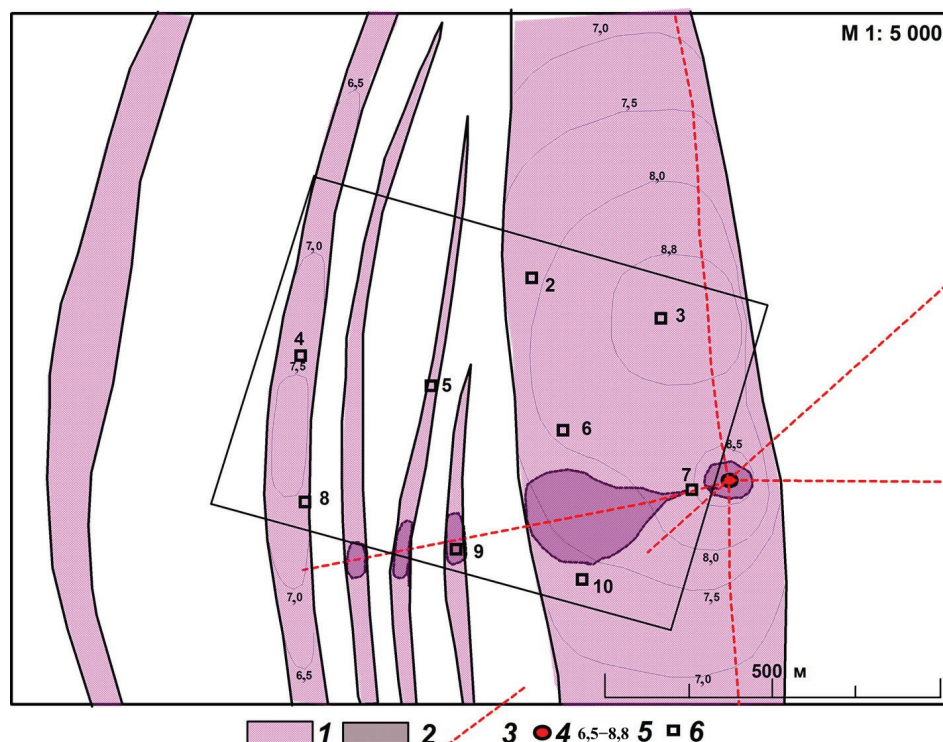


Рис. 6. Контуры геоэлектрических аномальных зон типа «нефтегазовая залежь» на территории хранилища нефтепродуктов: 1 – зоны типа «газовая залежь»; 2 – зоны типа «залежь светлой нефти»; 3 – тектонически ослабленные зоны; 4 – зона канала вертикальной миграции флюидов, максимальное значение пластового давления – 32 МПа; 5 – значения пластового давления газовых залежей, МПа; 6 – хранилище геологического типа и его номер

Fig. 6. Contours of geoelectric anomalous zones of the “oil and gas deposit” type on the satellite image of area of oil products storage: 1 – zones of the “gas deposit” type; 2 – zones of “deposit of light oil” type; 3 – tectonically weakened zones; 4 – zone of channel of the fluids vertical migration, the maximum reservoir pressure is 32 MPa; 5 – the value of reservoir pressure in gas deposits, MPa; 6 – the storage (reservoir) of geological type and its number

качиваться» в коллекторы (терригенные пропластки в соли) на территории подземного хранилища.

В результате частотно-резонансной обработки спутникового снимка участка обследования по аномальным откликам на резонансных частотах газа обнаружены и закартированы аномальные зоны типа «газ», в пределах которых прогнозируются скопления газа в терригенных пропластках соли (рис. 6). В контурах аномальных зон оценены значения пластового давления.

В точке с максимальными значениями пластового давления возле емкости 3Е проведено вертикальное сканирование разреза в интервале глубин 200–900 м (рис. 7). В разрезе выделено семь аномально поляризованных пластов (АПП) типа «газ». В отдельных АПП оценено пластовое давление.

Вдоль одного тектонического нарушения на резонансных частотах «легкой нефти» (определенных на образцах жидкости) обнаружено также несколько локальных аномальных зон типа «легкая нефть» (см. рис. 6). По сравнению с аномальными зонами типа «газ» они существенно меньше.

Спутниковый снимок участка расположения аномальных зон типа «легкая нефть» обработан также в более крупном масштабе – 1:2000. Результаты дополнительной обработки показаны на рис. 1. В контурах двух закартированных аномальных зон

типа «легкая нефть» (точки V1 и V2 на рис. 1) проведено вертикальное сканирование разреза с целью определения глубин залегания и мощностей АПП типа «легкая нефть». Результаты сканирования следующие (интервалы АПП типа «легкая нефть»): точка V1 – 103–106, 146–147, 200–202, 248–251, 253 м – соль; точка V2: 105–108, 148–149, 202–204, 269–270, 270 м – соль.

Наземное хранилище нефтепродуктов. Спутниковый снимок территории хранилища показан на рис. 8. В его пределах расположено значительное количество резервуаров различного объема, из которых за длительный период эксплуатации значительный объем нефтепродуктов просочился в землю, где сформировались «техногенные скопления топлива» различного вида. Масштаб обработки спутникового снимка 1:2500.

На рис. 8 красными точками T1 и T2 показано местоположение двух скважин, из которых были отобраны образцы топлива (пробы 1 и 2). В лаборатории по этим образцам определены резонансные частоты, которые в дальнейшем использовались в процессе частотно-резонансной обработки снимка.

В результате на обследованной площади обнаружено и закартировано 11 аномальных зон на резонансных частотах пробы 2 и 1 аномальная зона на резонансных частотах пробы 1 (рис. 8). В контурах

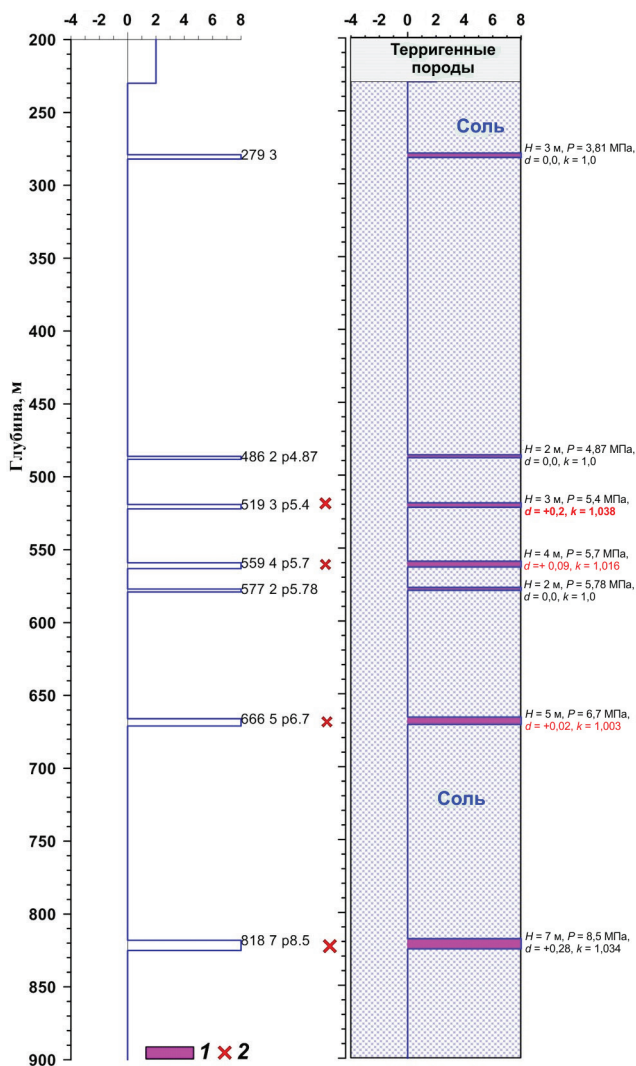


Рис. 7. Результаты вертикального сканирования аномальной зоны типа "газ" в районе емкости 3Е: 1 – прогнозируемый газ в пропластках брекчии; 2 – наиболее газосодержащие пласты; H – мощность пластов; P – пластовое давление; d – разность между пластовым и гидростатическим давлениями; k – отношение пластового давления к гидростатическому

Fig. 7. The results of the vertical scanning within anomalous zone of "gas" type in the reservoir 3E area: 1 – projected gas in interlayers of breccia; 2 – more gassy seams; H – thickness of reservoirs; P – formation pressure; d – the difference between the reservoir and hydrostatic pressure; k – the ratio of reservoir pressure to hydrostatic one

обнаруженных аномальных зон по значениям интенсивности аномального отклика выделены наиболее перспективные участки для бурения скважин с целью извлечения "утраченного" топлива.

Наличие техногенных скоплений топлива в контурах обнаруженных аномальных зон подтверждено бурением.

Выводы и комментарии. Оценив результаты проведенных исследований, в целом можно констатировать следующее.

1. По данным дистанционных и наземных геоэлектрических работ перспективным объектом для извлечения остатков нефтепродуктов из подземных

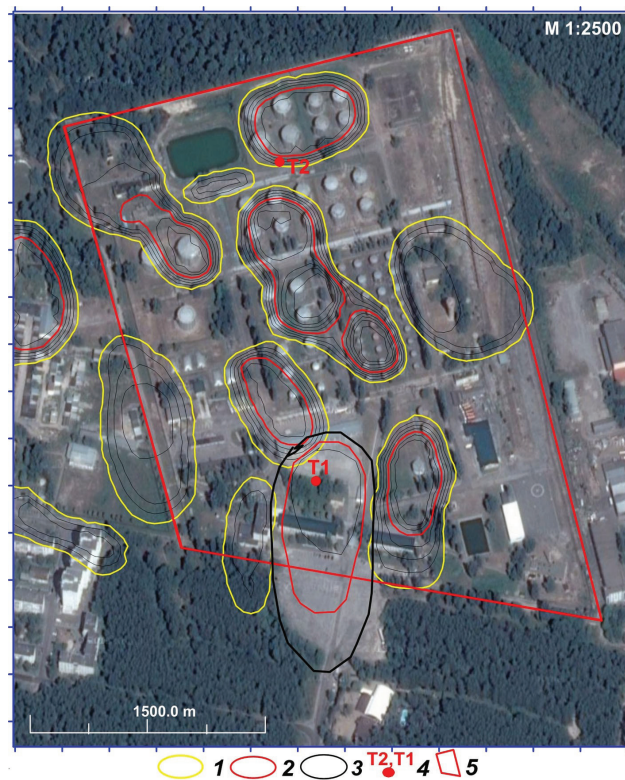


Рис. 8. Карта геоэлектрических аномальных зон типа "техногенная залежь топлива" на спутниковом снимке территории нефтебазы (по данным частотно-резонансного дешифрирования спутниковых снимков). Резонансные частоты пробы 2: 1 – контуры аномальных зон; 2 – наиболее перспективные поисковые зоны; 3 – контур аномальной зоны по резонансным частотам пробы 1; 4 – скважины отбора образцов топлива; 5 – границы нефтебазы

Fig. 8. Map of geoelectric anomalous zones of "Techno fuel reservoir" type on the satellite image of the territory of petroleum storage depot (according to the frequency-resonance interpretation of satellite images). The resonant frequencies of the sample 2: 1 – contours of the anomalous zones; 2 – the most promising search areas; 3 – contour of the anomalous zone on the resonance frequencies of the sample 1; 4 – wells of fuel sampling; 5 – border of oil depot

резервуаров является емкость 10Е. В результате размыва верхней части емкости (до 10 м) образовалась дополнительная полость. Нефтепродукты поднялись выше места забора, что не позволяет изъять их из емкости. Предполагаемый объем нефтепродуктов в резервуаре 5621,14 м³.

В емкости 7Е определен карман, расположенный на небольшом расстоянии от скважины. Прогнозируемый объем нефтепродукта в этом емкости 243,87 м³.

В зонах других емкостей остатков нефтепродуктов не обнаружено.

2. На обследованной площади наземного хранилища обнаружено и закартировано 12 аномальных зон на резонансных частотах проб топлива из двух пробуренных скважин. В контурах аномалий выделены наиболее перспективные участки для бурения скважин с целью извлечения "утраченного" топлива. Наличие техногенных скоплений топлива в контурах аномальных зон подтверждено бурением.

3. В результате целенаправленных дополнительных исследований в районе расположения подземного хранилища нефтепродуктов выявлен и локализован вертикальный канал миграции глубинных флюидов, по которому газ и “легкая нефть” нагнетаются по тектоническим нарушениям (ослабленным зонам) на территорию хранилища.

4. В очередной раз вертикальный канал миграции флюидов — локальная зона с очень высокими значениями пластового давления — обнаружен и локализован по аномальным откликам *на резонансных частотах гелия и водорода*. Это обстоятельство подтверждает работоспособность и эффективность разработанной методики [7] выявления и картирования (локализации) таких небольших (специфических) объектов.

5. Можно утверждать, что обнаруженные локальные аномалии гелия и водорода указывают на существование глубинных источников газа и “легкой нефти”.

6. В данной ситуации миграция газа и “легкой нефти” на территорию хранилища будет продолжаться до тех пор, пока обнаруженный канал будет активным.

7. На участке вертикального канала и закартированных аномальных зон типа “газ” рекомендуется провести детальные наземные исследования геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ. Результаты таких исследований помогут оценить целесообразность (с экономической точки зрения) бурения на обследованной площади скважины (скважин) с целью добычи газа. При проведении наземных исследований структура вертикального канала может быть изучена более детально, что представляет существенный интерес с научной точки зрения.

8. Выявление аномалий гелия и водорода позволяет предположить, что в окрестностях вертикального канала в коллекторах с газом могут накапливаться некоторые “объемы” гелия и водорода. Проблема обнаружения и локализации скоплений гелия и водорода в достаточных для организации их добычи объемах в настоящее время также является актуальной.

9. Для авторов принципиальное значение имеют факты обнаружения и локализации в районе подземного хранилища вертикального канала миграции глубинных флюидов (углеводородов) — локального участка с очень высокими значениями пластового давления. В последнее время при детальном обследовании закартированных аномальных зон такие каналы обнаруживаются достаточно часто. В частности, в работе [7] представлена информация о 10 вертикальных каналах, обнаруженных на 8 обследованных площадях.

На важность проблемы поисков и локализации вертикальных каналов миграции глубинных флюидов акцентируют внимание и другие исследователи.

Так, в электронной работе [1] по этой проблеме констатируется следующее: «Главным поисковым признаком методов обнаружения скоплений нефти и газа является поиск возможных ловушек — пористых и трещиноватых пород, способных вместить углеводороды, покрытых слоем непроницаемых горных пород. Теперь мы можем добавить новый поисковый признак — идентификация возможных каналов подпитки месторождений. Использование двух этих поисковых признаков позволит существенно увеличить вероятность обнаружения новых, в первую очередь гигантских нефтегазовых, месторождений».

Автор статьи [9, с. 48] утверждает, что “геофизические методы поисков ловушек углеводородов могут быть дополнены прогнозированием нефтеподводящих каналов, что будет способствовать повышению эффективности нефтепоискового бурения”.

10. В статье [7] уже обращалось внимание на то, что факты обнаружения вертикальных каналов миграции глубинных флюидов позволяют также более обоснованно говорить о реальности процесса пополнения разрабатываемых месторождений нефти и газа. Эта проблема обсуждается и в электронных работах [1, 2, 8], в которых с позиций масштабной водородной дегазации Земли достаточно обоснованно аргументированы процессы восстановления ресурсов нефти и газа. При этом авторы интервью [2, 8] обращают также внимание на назревшую необходимость использования в качестве топлива водород, находящийся в составе Земли. За счет водорода запасы нефти и газа продолжают восстанавливаться.

Многочисленные факты масштабной водородной дегазации Земли приводятся в журнальных публикациях авторов интервью [2, 8]. Проблема “газового дыхания” Земли детально анализируется в статье [10], где констатируется следующее (с. 22): *“Обнаружение массовой дегазации через континентальные и донные морские западины, линейные и другие формы в пределах материков, материковых склонов и обширных территорий океанического дна свидетельствует о существовании единой огромной разветвленной сети многомиллионных подзападинных и линейных каналов, обеспечивающих гораздо большие объемы дегазации, чем считалось в соответствии с оценками, выполненными ранее”*.

11. В статье [7] в первом приближении сформулированы методические принципы целенаправленного обнаружения и локализации вертикальных каналов миграции флюидов. Основным элементом этой методики — частотно-резонансная обработка спутниковых снимков с целью регистрации аномальных откликов на резонансных частотах гелия на начальном этапе поисков. В дальнейшем в пределах аномальных зон типа “гелий” оцениваются максимальные значения пластового давления. Эта методика активно применяется в настоящее время

при проведении исследований на поисковых площадях и участках.

В связи с отмеченным есть основания для утверждений, что мобильная технология частотно-резонансной обработки и декодирования данных ДЗЗ может также успешно использоваться для оперативного обнаружения и картирования возможных скоплений (крупных) водорода и гелия на участках (площадях) интенсивной водородной дегазации.

12. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой результативности частотно-резонансного метода обработки спутниковых снимков и наземных геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ при поисках и оконтуривании “техногенных” скоплений различных нефтепродуктов.

Частотно-резонансная обработка спутниковых снимков и площадная съемка методом СКИП позволяют эффективно выделять и картировать участки скопления нефтепродуктов, зоны миграции подземных водных потоков, а также повышенного увлажнения грунтов. Методы вертикального сканирования спутниковых снимков и ВЭРЗ дают возможность определять глубины расположения “техногенных (утерянных)” нефтепродуктов, увлажненных зон, подводных потоков, границ между отдельными комплексами пород, суффозионных полостей, карстовых воронок и провалов.

Этот комплекс методов позволяет выполнять исследования в лабораторных условиях и полевые геофизические измерения оперативно, в сжатые сроки, что, в свою очередь, приводит к существенному сокращению сроков проведения работ экологического и инженерно-изыскательского характера.

13. Мобильная прямопоисковая технология частотно-резонансной обработки данных ДЗЗ может быть использована для предварительной оценки перспектив нефтегазоносности крупных поисковых блоков и площадей, в том числе в удаленных и труднодоступных районах земного шара. Ее применение может принести значительный эффект при поисках и разведке промышленных скоплений нефти и газа в коллекторах нетрадиционного типа (сланцах, плотных песчаниках, породах баженновской свиты, угленосных комплексах, кристаллических породах). Мобильная технология также может найти применение при обследовании слабоизученных участков и локальных блоков в пределах известных нефте- и газоносных бассейнов.

1. Кучеров В.Г. Возобновляемая нефть: миф или реальность? [Электронный ресурс] / В.Г. Кучеров. — Режим доступа: http://www.ng.ru/energy/2016-02-09/14_oil.html (дата обращения: 25.03.2016).
2. Ларин В.Н. “Нефть на Земле не заканчивается. Жгите, сколько хотите” [Электронный ресурс]: [интер-

вью] / В.Н. Ларин. — Режим доступа: <http://ptel.cz/2014/02/vladimir-nikolaevich-larin-neft-na-zemle-ne-zakanchivaetsya-zhgite-skolko-xotite/> (дата обращения: 25.03.2016).

3. Левашов С.П. Экспресс-технология “прямых” поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами: результаты практического применения в 2001–2005 гг. / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2006. — № 1. — С. 31–43.
4. Левашов С.П. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 22–43.
5. Левашов С.П. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2011. — № 2. — С. 19–35.
6. Левашов С.П. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геофизический журнал. — 2012. — Т. 34, № 4. — С. 166–176.
7. Левашов С.П. Мобильные прямопоисковые технологии: факты обнаружения и локализации каналов вертикальной миграции флюидов — дополнительные свидетельства в пользу глубинного синтеза углеводородов / С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, Д.Н. Божежа, В.В. Прилуков // Геоинформатика. — 2016. — № 2. — С. 5–23.
8. Полеванов В.П. “Нефть не может дорого стоить, потому что восстанавливается, как лес” [Электронный ресурс]: [интервью] / В.П. Полеванов. — Режим доступа: <http://www.business-gazeta.ru/article/148000> (дата обращения: 25.03.2016).
9. Трофимов В.А. Нефтеподводящие каналы и современная подпитка нефтяных месторождений: гипотезы и факты / В.А. Трофимов // Георесурсы. — 2009. — № 1 (29). — С. 46–48.
10. Шестопалов В.М. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В.И. Вернадского о “газовом дыхании” Земли / В.М. Шестопалов, А.Н. Макаренко // Геологический журнал. — 2013. — № 3. — С. 7–25.
11. Шуман В.Н. Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспектива / В.Н. Шуман, С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин // Геоинформатика. — 2008. — № 2. — С. 22–50.
12. Якимчук М.А. Електричне поле і його роль у житті Землі / М.А. Якимчук // Геоинформатика. — 2014. — № 3. — С. 10–20.
13. Презентация компании [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/> (дата обращения: 30.03.2016).

Поступила в редакцию 02.06.2016 г.

РЕЗУЛЬТАТИ ДИСТАНЦІЙНИХ І НАЗЕМНИХ ГЕОЕЛЕКТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ДІЛЯНКАХ РОЗТАШУВАННЯ СХОВИЩ НАФТОПРОДУКТІВ

С.П. Левашов^{1,2}, І.Г. Зезекало³, М.А. Якимчук^{1,2}, І.М. Корчагін⁴, Д.М. Божжежа²

¹Інститут прикладних проблем екології, геофізики і геохімії, пров. Лабораторний, 1, Київ 01133, Україна

²Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України, пров. Лабораторний, 1, Київ 01133, Україна

³ТОВ "НадраСпетстехнологія", Майдан незалежності, 20, Полтава 36003, Україна

⁴Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, Київ 03680, Україна, e-mail: korchagin@karbon.com.ua

Проаналізовано результати досліджень з використанням мобільних прямопошукових методів на територіях підземного і наземного сховищ нафтопродуктів. На першому етапі обстеження підземного сховища дизельного палива виконано частотно-резонансну обробку супутникового знімка ділянки його розташування. На другому етапі на площі сховища проведено наземні деталізаційні роботи геоелектричними методами СКІП і ВЕРЗ. У результаті виявлено та закартовано залишки дизельного палива у двох підземних резервуарах об'ємом 5621 і 243 м³. У зонах інших резервуарів залишки нафтопродуктів не виявлено. На ділянці робіт встановлено і локалізовано вертикальний канал міграції глибинних флюїдів, по якому газ і "легка нафта" нагнітаються по тектонічних порушеннях на територію сховища. На площі наземного сховища виявлено та закартовано 12 аномальних зон на резонансних частотах проб палива із пробурених свердловин. У контурах аномальних зон за значеннями інтенсивності аномального відгуку виділено найперспективніші ділянки для буріння свердловин з метою вилучення "втраченого" палива. Наявність техногенних скупчень палива в контурах виявлених аномальних зон підтверджено бурінням.

Ключові слова: сховище нафтопродуктів, паливо, нафта, газ, свердловина, супутникові дані, прямі пошуки, геоелектричні методи, аномалія типу "поклад", обробка даних дистанційного зондування Землі, інтерпретація, вертикальний канал.

RESULTS OF REMOTE SENSING AND GROUND-BASED GEOELECTRICAL INVESTIGATION AT THE SITES OF THE OIL STORAGE LOCATIONS

S.P. Levashov^{1,2}, I.G. Zezekalo³, N.A. Yakymchuk^{1,2}, I.N. Korchagin⁴, D.N. Bozhezha²

¹Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry, 1 Laboratory Lane, Kyiv 01133, Ukraine

²Management and Marketing Center of the Institute of Geological Science, NAS of Ukraine, 1 Laboratory Lane, Kyiv 01133, Ukraine

³NadraSpetsstechnology LLC, 20 Independence Sq., Poltava 36003, Ukraine

⁴Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32 Palladin Ave., Kyiv 03680, Ukraine, e-mail: korchagin@karbon.com.ua

Purpose of the paper is to study the possibility of the mobile direct-prospecting methods using for exploration and delineation of "man-made" fuel accumulations on the underground and ground petroleum storage facilities; to search and localize the vertical channel of deep fluids migration; to improve the methodological application principles of direct-prospecting geophysical methods and techniques for solving the problems of near-surface geophysics.

Design/methodology/approach. The experiments were carried out using a mobile direct-prospecting technology that includes the method of frequency-resonance processing of satellite images and ground-based geoelectric methods FSPEF and VERS. Particular methods of this technology are based on the principles of a "substance" paradigm of geophysical studies and provide the ability to detect and map operatively the anomalous zones of the "hydrocarbons deposit (oil, gas and gas condensate)" type. Within the contours of detected the anomalous zones the maximum values of fluid pressure in the reservoirs are estimated by the resonant frequencies of gas at different intervals of the cross-section.

Findings. At the first stage of the survey of the underground storage of diesel fuel we carried out frequency-resonance processing of satellite images of its location area. At the second stage we conducted the detailed ground-based works within the storage area, using the geoelectric FSPEF and VERS methods. As a result, the diesel residues of 5621.0 m³ and 243.0 m³ volume were detected and mapped in two underground tanks. In the areas of other tanks the oil residues were not detected. Within the working area, vertical channel of deep fluids migration was detected and localized, by which gas and "light oil" are pumped through the tectonic fractures into the storage territory.

At the surveyed area of ground storage, 12 anomalous zones were detected and mapped at the resonant frequencies of fuel samples from drilled wells. Within the contours of the detected anomalous zones, the most prospective areas for drilling wells to extract the "lost fuel" were identified by the values of the anomalous response intensity. The presence of man-made fuel accumulations in the contours of the detected anomalous zones was confirmed by drilling.

The practical significance and conclusions. Studies have demonstrated the high efficacy of individual methods of direct-prospecting geophysical technology for exploration and delineation of "man-made" petroleum accumulations. Frequency-resonance processing of satellite images and area survey by FSPEF method allows us to highlight and

map areas of oil accumulation, zones of underground water flows migration and high humidity of soil. Methods of images vertical scanning and of VERS sounding permit to determine the depth to the “man-made (lost)” petroleum products, wetlands, underwater streams, boundaries between different rock complexes, suffusion cavities, sinkholes and valleys. This complex of methods will allow us to carry out laboratory research and make field geophysical measurements quickly and in a short period of time, which leads to a significant reduction in the timing of the work of environmental engineering and surveying character.

Keywords: storage of petroleum products, fuel, oil, gas, well, satellite data, direct search, geoelectric methods, anomaly of the deposit type, remote sensing data processing, interpretation, vertical channel.

References:

1. Koutcherov V.G. Renewable oil: myth or reality? Available at: http://www.ng.ru/energy/2016-02-09/14_oil.html (Accessed 25 March 2016) (in Russian).
2. Larin V.N. Oil in the world does not end. Burn as you want (Interview). Available at: <http://ptel.cz/2014/02/vladimir-nikolaevich-larin-neft-na-zemle-ne-zakanchivaetsya-zhgite-skolko-xotite/> (Accessed 25 March 2016) (in Russian).
3. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Express technology of “direct” exploration for hydrocarbon accumulations by geoelectric methods: results of practical application in 2001-2005. *Geoinformatika*, 2006, no. 1, pp. 31-43 (in Russian).
4. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. New possibilities for the oil-and-gas prospects operative estimation of exploratory areas, difficult of access and remote territories, license blocks. *Geoinformatika*, 2010, no. 3, pp. 22-43 (in Russian).
5. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Assessment of relative values of reservoir pressure of fluids in collectors: results of conducted experiments and prospects of practical application. *Geoinformatika*, 2011, no. 2, pp. 19-35 (in Russian).
6. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Chastotno-rezonansnyj princip, mobil'naja geoelektricheskaja tehnologija: novaja paradigma geofizicheskikh issledovanij. *Geofizicheskij zhurnal*, 2012, vol. 34, no. 4, pp. 166-176 (in Russian).
7. Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhezha D.N., Prylukov V.V. Mobile direct-prospecting technology: facts of the channels detection and localization of the fluids vertical migration – additional evidence for deep hydrocarbon synthesis. *Geoinformatika*, 2016, no. 2, pp. 5-23 (in Russian).
8. Polevanov V.P. Oil is not expensive, because restored as a forest (Interview). Available at: <http://www.business-gazeta.ru/article/148000> (Accessed 25 March 2016) (in Russian).
9. Trofimov V.A. Refilling Channels and Modern Refilling of Oilfields: Hypothesis and facts. *Georesursy*, 2009, no. 1, pp. 46-48 (in Russian).
10. Shestopalov V.V., Makarenko A.N. Some results of research, developing the idea of V.I. Vernadsky on the “gas breathing” of Earth. *Geological Journal*, 2013, no. 3, pp. 7-25 (in Russian).
11. Shuman V.N., Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N. Radio Wave Sounding Systems: Theoretical Postulates, State, Prospect. *Geoinformatika*, 2008, no.2, pp. 22-50 (in Russian).
12. Yakymchuk N.A. Electric field and its role in life on Earth. *Geoinformatika*, 2014, no. 3, pp. 10-20 (in Ukrainian).
13. Presentation of Geoprom technology. Available at: <http://www.geoprom.com.ua/index.php/ru/> (Accessed 30 March 2016).

Received 02/06/2016