

УДК 550.379

Т.А. Мингалева<sup>1</sup>  
Канд. геол.-мин. наук Н.П. Сенчина<sup>1</sup>  
Канд. техн. наук А.А. Миллер<sup>1</sup>

### КАРТИРОВАНИЕ УЧАСТКА РАЗЛИВА НЕФТИ МЕТОДАМИ ЕП И ИЭМП

**Ключевые слова:** разлив нефти, углеводороды, загрязнение, ИЭМП, ЕП, экологическая геофизика, электроразведка

*Представленный материал является результатом исследования следов нефтяного разлива, произошедшего в 2016 г. в г. Колпино рядом с рекой Большая Ижорка. В статье предоставлены данные, полученные измерениями при помощи методов электроразведки: метода естественного поля (ЕП) и метода измерения электропроводности массива горных пород (ИЭМП). На основании результатов метода ИЭМП построена карта распределения удельной проводимости выбранной территории. По данным площадных исследований места загрязнения углеводородами отличаются повышенными значениями проводимости по сравнению с окружающими участками. Также нефть и нефтепродукты отмечаются повышением потенциала ЕП в разрезе и вдоль профиля. Выявлены нарушения при рекультивации и обозначены их возможные последствия.*

**Введение.** В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам экологии окружающей среды, особенно проблемам, связанным с загрязнением водоёмов и почв нефтепродуктами и нефтью. Из-за проникновения нефти в грунт страдает растительность и некоторая часть фауны. Через грунтовые воды нефть может попасть в питьевую воду жителей близлежащих населённых пунктов, что негативно сказывается на здоровье.

Загрязнение нефтью происходит при добыче, переработке и транспортировке нефтепродуктов, в результате разрыва нефтепроводов на территориях нефтеперерабатывающих заводов. Поэтому на сегодняшний день важно определить границы территории, где произошел разлив нефти, предоставить прогноз распространения его по площади и на глубину, а также своевременно ликвидировать. Для указанных целей производится

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Россия

картирование участков разлива нефтепродуктов при помощи геофизических методов.

**Обзор методов, применяемых для решения задач картирования участков разлива углеводородов.** Одними из наиболее быстрых и действенных способов нахождения нефтяных разливов являются методы геофизики. Их преимущество заключается в возможности оконтуривания зоны загрязнения нефтью или нефтяными продуктами, а также в возможности оценки мощности и глубины проникновения загрязнения, выявление слоя глин, являющегося «экраном» для продвижения области загрязнения, и нахождения уровня грунтовых вод. Поиск зон загрязнения нефтью чаще всего проводят методами электроразведки. При попадании нефти в грунт наблюдается повышенное сопротивление. Однако спустя некоторое время под влиянием биodeградации нефти формируется повышенная проводимость, по сравнению с окружающим грунтом за счёт возникновения в порах проводящих биоплёнок (скоплений трансформирующих нефть бактерий) [6]. По величине кажущегося удельного электрического сопротивления, полученного в результате измерений, можно довольно быстро оценить физическое состояние геологической среды, а также найти расположение объекта загрязнения и подвергшиеся загрязнению породы в плане и в разрезе. Основными методами нахождения загрязнений, связанными с нефтью, являются методы естественного поля (ЕП), вызванной поляризации (ВП); методы сопротивлений, включая электропрофилирование (ЭП), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и радиоволновое профилирование (РВП), также возможно применение термометрии и инфракрасных тепловых съёмок [1].

Грунты, загрязнённые нефтью, имеют низкую диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon = 7 \dots 10$ ) по сравнению с влагонасыщенными породами ( $\epsilon = 20 \dots 35$ ), но повышенную, если сравнивать с сухими породами ( $\epsilon = 2 \dots 4$ ). [10] Это позволяет выполнять поиски загрязнённых мест при помощи георадиолокации.

Часто используемым методом в инженерной и экологической геофизике является метод ВП в модификации томографического зондирования, позволяющий проследить объект на детальных вертикальных двумерных разрезах. Химические процессы, возникающие в содержащих углеводороды горных породах, при определённых условиях образуют включения с электронной проводимостью. Это способствует применению помимо метода ВП, также метода ЕП, для решения экологических задач при загрязнениях углеводородами.

**Участок нефтеразлива в г. Колпино.** Исследуемый в работе участок нефтеразлива был обнаружен в 2016 г. «Нефтяные пятна, мазут и грязь всплывают в реке Большой Ижорке регулярно. Дальше загрязненная и зараженная вода идет в Ижору, Неву и Финский залив» [2, 4].

Площадь проведения работ располагается в г. Колпино (пригород Санкт-Петербурга) в восточном окончании улицы Механической рядом с рекой Большая Ижорка (рис. 1). После нефтеразлива была произведена рекультивация загрязненной территории, однако следы нефти и её продуктов обнаруживаются, но на поверхности имеют локальный характер.



Рис. 1. Схема участка разлива углеводородов (г. Колпино, ул. Механическая).

В июне 2018 г. выполнен определенный объем работ методами ИЭМП, ЕП на участке нефтеразлива с целью определения эффективности указанных методик в решении геоэкологических задач.

**Методика и аппаратура.** Метод ИЭМП (измерение электропроводности массива пород) предназначен для изучения электрических свойств пород в естественном залегании. Его цель выявление и прослеживание ареалов засоления почв и подпочвенных горизонтов, оценка степени засоления, выявление приповерхностных источников засоления и других неоднородностей электропроводности. Исследования методом ИЭМП возможны до глубины 1,0...1,5 м. Области загрязнения почв нефтепродуктами прослеживаются по распределениям электропроводности на площади исследования.

При проведении работ данным методом использован прибор с соответствующим названием ИЭМП, состоящий из антенного блока и пульта. Антенный блок содержит систему плоских катушек, закрепленных на жестком основании и электронные блоки – генераторный и усилительный.

Принцип работы прибора основан на том, что переменное электромагнитное поле генераторной катушки частотой  $140 \pm 5$  кГц, возбуждает в земле вихревые токи. Поле вихревых токов создаёт ЭДС (электро-

движущую силу) на зажимах измерительной и компенсационной катушек. Сигналы с обеих катушек складываются с обратным знаком на трансформаторе. Сигнал с трансформатора, пропорциональный электрической проводимости пород, усиливается, выпрямляется и по соединительному кабелю поступает на пульт прибора. Некомпенсированная часть сигнала прибора в воздухе уменьшается с помощью дискретного компенсатора поляризации, затем сигнал поступает на стрелочный индикатор [7].

*Метод естественного электрического поля (ЕП)* основан на изучении локальных электрических полей, которые возникают в горных породах из-за окислительно-восстановительных, адсорбционных и фильтрационных явлений. Глубинность метода, как правило, принимается ограниченной сотней метров [1].

В ходе измерений данным методом использованы два неполяризующихся электрода и милливольтметр постоянного тока с высоким входным сопротивлением. Знак аномалии ЕП имеет важное значение для понимания её геологической природы, соответственно неподвижный базовый электрод (расположен в орестностях пунктов измерения в свободной от аномалий области) подключён к отрицательной клемме мультиметра. Подвижный электрод соответственно подключён к положительной клемме и перемещается по профилям исследования либо по разрезу.

В работе использованы неполяризующиеся свинцово-хлоридные электроды PMS 9000 (компания «SDEC», Франция). Дрейф потенциала электродов составляет около 0,2 мВ в месяц при долгом времени «жизни» электрода (10...15 лет) и минимальном требуемом обслуживании [12].

Методом ИЭМП изучены профили ПР 1 – ПР 4 (рис. 2). Профили ПР 1 – ПР 3 расположены в крест простирания предполагаемого нефтяного загрязнения. Профиль ПР 4 расположен ортогонально профилям ПР 1 – ПР 3. Пикеты расставлены с шагом 0,75 м.

Методом ЕП исследован профиль ПР 1 и разрез в точке А (рис. 2, 3) до глубины 0,5 м. Расстояние между пикетами выбрано 0,75 м для удобства сопоставления с результатами ИЭМП. Для изучения разреза в точке А измерения проведены с шагом 10 см для оценки взаимосвязи аномалий потенциала ЕП и расположения горизонтов загрязнения грунтов нефтепродуктами.

Стоит отметить, что система профилей захватывает территорию за пределами, найденных на поверхности пятен мазута и других нефтепродуктов для дальнейшего картирования площадки и прогнозирования распространения нефтяного загрязнения.

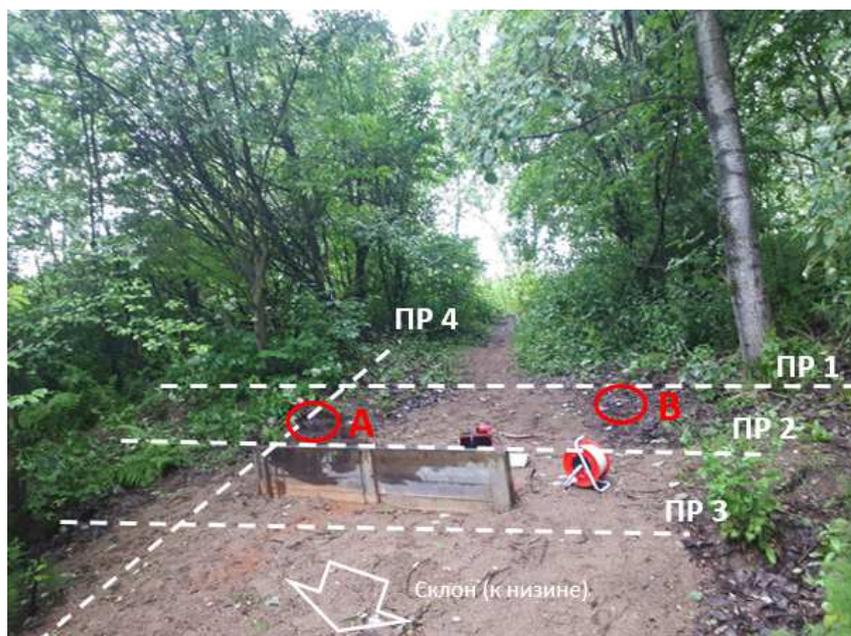


Рис. 2. Схема расположения профилей. Детальные фото, полученные при вскрыше верхнего слоя земли в точках А и В показаны на рис. 3.



Рис. 3. Визуально определяемые следы нефтяного загрязнения. Слева – прослойки, линзы мазута, битума на поверхности и на глубине около 15...20 см (точка А на рис. 2). Справа – загрязненный нефтью слой грунта на глубине около 50 см под толщей гравия (видимо, отсыпанного для скрытия загрязнения) (точка В на рис. 2).

В ходе выполнения измерений методом ЕП на профиле 1 получены довольно интересные результаты (рис. 4). Заметны положительные аномалии в пределах отмеченных на рис. 4 точек А и В. Причем, если в точке А (с амплитудой до 10 мВ) найдены небольшие прослойки битума, то в точке В обнаружен значительный слой загрязненного нефтью грунта (мощностью 10...15 см), однако на большей глубине (амплитуда аномалии составляет более 20 мВ).

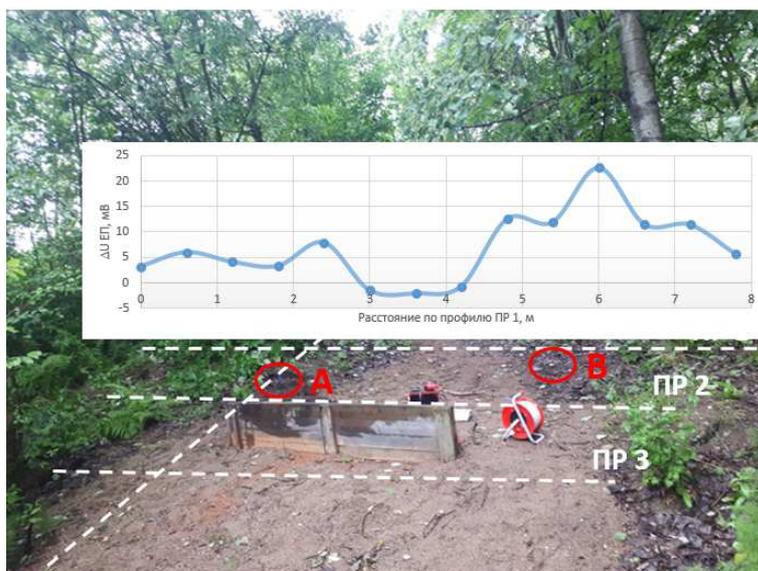


Рис. 4. Результаты ЕП на профиле 1. Максимумы связаны с областями контаминации, минимум наблюдается в месте расположения насыпного грунта.

Стоит отметить, что слева на фотографии (рис. 2) находится небольшой ручей, идущий вниз по склону. Следовательно, можно предположить, что положительную аномалию точки А и В имеют в связи с тем, что грунтовые воды спускаются вниз по течению, образуя места разгрузки. Нефть, также как и грунтовые воды, испытывает разгрузку, постепенно двигаясь к руслу реки, с чем, вероятно, связан положительный знак аномалии потенциала ЕП [11].

Для детального изучения разреза в точке А проведены замеры методом ЕП (рис. 5). Повышенный потенциал ЕП наблюдается в местах расположения прослоек битума.

По данным ИЭМП для профилей ПР 1 – ПР 4 построена площадная карта распределения электропроводности (рис. 6).

На рис. 6 аномалии, связанные с высокими проводимостями, приходятся на область распространения нефтяных загрязнений углеводородами (точки А и В). Так как нефтеразлив произошёл два года назад, можно сделать вывод о том, что нефть, претерпев биологическое и химическое окисление, приобрела высокую проводимость [10]. Грунт, в котором находятся углеводородные загрязнения, имеет хорошие фильтрационные свойства. Поэтому, возможно, часть нефти от источника своего наибольшего скопления спустилась вниз по склону за деревянное ограждение. На

карте распределения проводимости на участке такое загрязнение показано аномалиями жёлтого цвета. Оно особенно заметно ниже по склону относительно точки В.

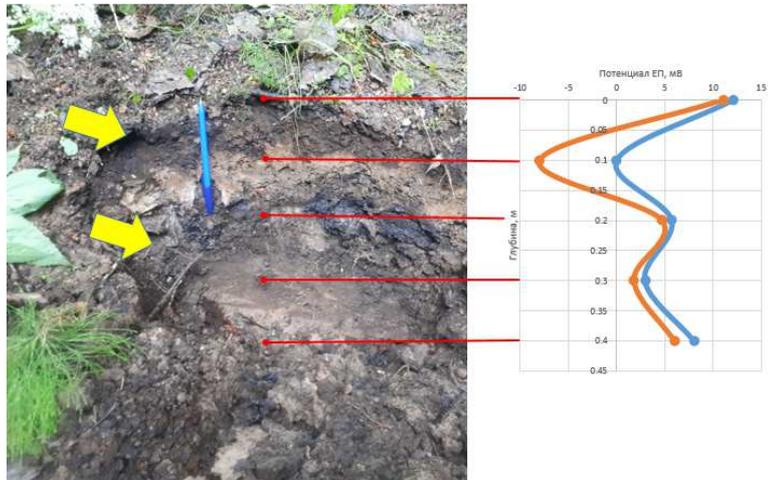


Рис. 5. Результаты ЕП по небольшому разрезу в точке А. Желтыми стрелками отмечены темноокрашенные слои грунта, загрязненные битумом и другими нефтепродуктами.

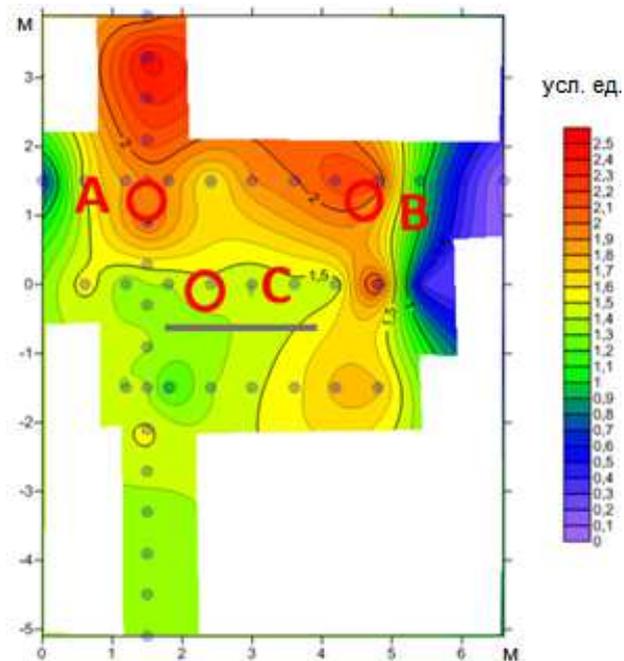


Рис. 6. Результаты ИЭМП на участке нефтеразлива. Серая полоса – деревянное вкопанное ограждение; в точках А, В – обнаружено загрязнение, в точке С – под слоем насыпного грунта обнаружены незагрязненные автохтонные отложения (суглинки).

**Выводы.** В ходе проведенных измерений на месте нефтеразлива двухлетней давности обнаружены остатки нефти и её продуктов. методами ИЭМП и ЕП определены места наибольшего скопления нефти, а также её распространение на изучаемой площадке. Данным исследованием подтверждено некачественное проведение рекультивации территории после появления экологической проблемы. При высоком содержании нефтепродуктов почва может стать водо- и воздухопроницаемой, потеряв плодородие [5]. Страдает не только почва, но и растительный и животный мир. Однако, стоит отметить, что на месте расположения приповерхностных линз битумов заметна слабая растительность (сныть, злаковые). Вероятно, данные растения приспособились к сложившимся экологическим условиям.

В соответствии с ГОСТом Р 57447-2017 «Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Основные положения», пунктом 8.2 «Технический этап рекультивации земель и земельных участков, загрязнённых нефтью» помимо сбора нефти с поверхности земли необходимо обеспечить условия, ограничивающие попадание оставшихся нефтепродуктов в водоёмы через грунтовые воды. Указанные рекомендации не выполнены. Как видно (рис. 5), нефтяное загрязнение постепенно спускается вниз по склону, что может в дальнейшем вызвать более существенное загрязнение реки Большая Ижорка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геофизика: учебник / Под ред. В.К. Хмелевского. – 4-е изд. – М.: КДУ, 2015. – 320 с.
2. Мазут стекает в приток Невы с заброшенной промплощадки. [Электрон. ресурс]. <http://activatica.org/problems/view/id/578/title/tonny-nefteproduktov-stekayut-v-reku-izhoru-a-zatem-v-nevu-s-zabroshennoy-promplohchadki> (дата обращения: 1.07.2018).
3. Место нефтепродуктов в современном мире. Влияние загрязнений на почву, растения и водные системы. [Электрон. ресурс]. [http://studbooks.net/981680/ekologiya/vliyanie\\_zagryazneniy\\_pochvu\\_rasteniya\\_vodnye\\_sistemy](http://studbooks.net/981680/ekologiya/vliyanie_zagryazneniy_pochvu_rasteniya_vodnye_sistemy) (дата обращения: 1.07.2018).
4. Петербургская интернет-газета «Фонтанка.ру». Черная река: как мазут попадает в Неву [Электрон. ресурс]. <https://www.fontanka.ru/2016/07/15/157/> (дата обращения: 1.07.2018).
5. Погорелов Ю.С. Геофизика: пособие для студентов, обучающихся по специальности 130302 «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания». – Белгород: Принт-Мастер, 2009. – 56 с.

6. Рыжов А.А., Шевнин В.А., Квон Д.А. ВСЕГИНГЕО, МГУ им. М.В. Ломоносова, Петрофизический подход к данным малоглубинной электроразведки [Электрон. ресурс]. [http://moeeago.ru/pluginfile.php/64/mod\\_book/chapter/8/07\\_%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%BD.pdf](http://moeeago.ru/pluginfile.php/64/mod_book/chapter/8/07_%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%BD.pdf) (дата обращения: 1.07.2018).
7. Техническое описание и инструкция по эксплуатации АХЖ 2.399.000 ТО. Измеритель электропроводности почвы и массива горных пород ИЭМП. –1991. –11 с.
8. Тюленева В.А., Соляник В.А., Васькина И.В. К вопросу исследования фильтрации нефти в почвах, Сумской государственной университет [Электрон. ресурс]. [www.kdu.edu.ua/statti/2006-2-2\(37\)/110.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-2-2(37)/110.pdf) (дата обращения: 1.07.2018).
9. Шевнин В.А., Делгадо О., Рыжов А.А. Картирование методом сопротивлений нефтяных загрязнений геологической среды // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 5. – С. 27-32.
10. Шкабарня Н.Г., Шкабарня Г.Н. Картирование нефтяных загрязнений геологической среды с помощью геофизических методов. Вологодские чтения, 2008. – С. 163-165.
11. Forté S. and Bentley L. R. Effect of hydrocarbon contamination on streaming potential Near Surface Geophysics, 2013, 11, 75-83 doi: 10.3997/1873-0604.2012057
12. SDEC. Soil Science equipment | Unpolarizable electrodes PMS 9000. [Электрон. ресурс]. <http://www.sdec-france.com/soil-science-equipment-sensor-pms9000.html> (дата обращения: 1.07.2018).

Поступила 5.07.2018

	Т.А. Мингалева
Геол.-мин. ғылымд. канд.	Н.П. Сенчина
Техн. ғылымд. канд.	А.А. Миллер

## МҰНАЙ ТАСУ ТІЛЕМІН ТА ЖӘНЕ ЖСЭӨ ӘДІСІМЕН КАРТАЛАУ

**Түйінді сөздер:** мұнай тасқыны, көмірсутек, ластану, ЖСЭӨ, ТА, экологиялық геофизика, электрлі барлау

*Ұсынылған мәлімет 2016 жылы Үлкен Ижорка өзені маңындағы Колпино қаласында болған мұнай тасқынының іздерін зерттеу нәтижелері болып табылады. Мақалада электрлі барлау әдісінің: табиғи алап әдісі (ТА) және тау*

*жыныстар сілемінің электрөткізгіштігін өлшеу (ЖСЭӨ) әдісі, көмегімен өлшенген мәліметтер келтірілген. ЖСЭӨ әдісі нәтижелерінің негізінде таңдап алынған аумақтың электрөткізгіштігінің таралу картасы тұрғызылды. Алаңдық зертеулер мәліметтері бойынша көмірсутектермен ластанған орындар айналадағы телімдерден жоғары өткізгіштігімен ерекшеленеді. Сонымен қатар мұнай және мұнай өнімдері ТА алеуетінің профиль қимасында және көлденең бойымен жоғарылауы тіркелген. Қалпына келтіру кезінде қателіктер кеткен және олардың мүмкін зардаптары белгіленді.*

T.A. Mingaleva, N.P. Senchina, A.A. Miller

### **MAPPING OF OIL SPILLAGE AREA USING SP AND MREC METHODS**

**Keywords:** oil spill, hydrocarbons, contamination, MREC, EP, ecological geophysics, electrical exploration

*The presented material is the result of studies on the oil spillage area that was formed in 2016 in the city of Kolpino near the river Bolshaya Izhorka. The obtained data are provided by the methods of electrical prospecting: the method of the self-potentials (SP) and the method of the measuring of rock electrical conductivity (MREC) in article. A map of the conductivity distribution of the selected territory was constructed based on the MREC method results. Hydrocarbon contamination shows a high value of conductivity compared to conventional ground according to the area map of the area. Oil and oil products are marked by a increase in the SP measurements in the section and on the map. Infringements at recultivation and possible consequences are revealed.*