

Малоглубинная геофизика при оценке состояния геологической среды промышленных зон (на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода)

©2021 А. П. Гусев[✉], В. Л. Моляренко, А. И. Павловский, И. О. Прилуцкий, С. В. Андрушко

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246003 г. Гомель, Республика Беларусь*

Аннотация

Введение: Цель исследований – разработка и апробация комплекса малоглубинной геофизики для оценки состояния геологической среды промышленной зоны на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода. Решаемые задачи: диагностика загрязнения зоны аэрации полигона химических отходов; выявление утечек загрязненных вод из каналов; поиск захороненных техногенных объектов.

Методика: Геофизические исследования выполнялись следующими методами: электрическое профилирование методом сопротивлений; вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений; метод естественного электрического поля; геомагнитная съемка. Техническое обеспечение: электроразведочная аппаратура ERA-MAX; протонные магнитометры GeometricsG-857 и МПП-203.

Результаты и обсуждение: Рассмотрено использование комплекса малоглубинной геофизики при изучении состояния геологической среды в зоне влияния полигона твердых отходов Гомельского химического завода. Электропрофилирование на разностях АВ=3 м позволило выявить зону высокого химического загрязнения почвогрунтов (кажущееся сопротивление – менее 10 Ом·м). По данным вертикального электрического зондирования, в районе отвалов отходов химическое загрязнение, выраженное в области аномально низкого кажущегося сопротивления, затрагивает не только почвогрунты, но и грунтовый и межморенный водоносные горизонты (примерно до глубины 10–20 м). Профилирование комплексом методов вдоль отводного канала позволило выявить зоны утечек загрязненных вод, диагностируемые по отрицательным аномалиям градиента потенциала естественного электрического поля (амплитуда 30–40 мВ). Использование геомагнитной съемки в сочетании с электропрофилированием установило захороненный фундамент.

Заключение. Предложенный комплекс малоглубинной геофизики позволяет оперативно решать широкий круг задач по диагностике состояния геологической среды промышленных комплексов.

Ключевые слова: малоглубинная геофизика, геологическая среда, геоэлектрические методы, геомагнитная съемка.

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке ГПНИ, подпрограмма «Белорусские недра», в рамках научного проекта НИР «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений Гомельской области как основы рационального и экологически безопасного недропользования».



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Андрей Петрович Гусев, e-mail: andi_gusev@mail.ru

Для цитирования: Гусев А. П., Моляренко В. Л., Павловский А. И., Прилуцкий И. О., Андрушко С. В. Малоглубинная геофизика при оценке состояния геологической среды промышленных зон (на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2021. №4. С. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.4/3791>

Введение

Малоглубинная геофизика – это направление разведочной геофизики, исследующее приповерхностную часть земной коры. Геофизические методы применяются для решения экологических, инженерно-технических и археологических задач в приповерхностной части земной коры. Предметом малоглубинной геофизики является геологическая среда, под которой понимается верхняя часть литосферы – многокомпонентная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. Особенности малоглубинной геофизики являются: глубинность исследований – от 0 до первых сотен метров; высокое вертикальное и горизонтальное разрешение; высокая скорость полевых работ, обработки и интерпретации результатов [1–3].

Геологическая среда насыщена инженерными сооружениями (кабелями, трубопроводами, теплотрассами, коллекторами, колодцами, подземными фундаментами и т.д.), разнообразными техногенными органическими и неорганическими отходами, и включает один или несколько культурных слоев. Кроме того, здесь различными источниками формируются интенсивные тепловые, электромагнитные, вибрационные, радиоактивные поля. Такая геологическая среда отличается резкой горизонтальной и вертикальной изменчивостью свойств, их анизотропией, невыдержанностью границ, переменным фазовым составом, нестабильностью состава и свойств по времени.

Методы малоглубинной геофизики представляют собой адаптированные к предмету и задачам исследований геофизические методы, основанные на изучении тех или иных физических полей и свойств.

Цель исследований – разработка и апробация комплекса малоглубинной геофизики для оценки состояния геологической среды промышленной зоны на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода. Решаемые задачи: диагностика загрязнения зоны аэрации полигона твердых отходов Гомельского химического завода; выявление утечек загрязненных вод из каналов; поиск захороненных техногенных объектов.

Гомельский химический завод крупнейшее в Беларуси предприятие химической промышленности, производящее более 20 видов химической продукции (серная и фосфорная кислоты, аммофос, суперфосфат, азотно-фосфорно-калийные удобрения, фтористый алюминий и т.д.). В ходе функционирования данного производства образуются твердые фосфогипсовые отходы, которые складываются на территории специаль-

ного полигона (накоплено более 17 млн т, занимающих территорию около 100 га). Отвалы фосфогипса являются постоянно действующим источником поступления загрязняющих веществ в поверхностные и грунтовые воды, почвогрунты, причиной деградации растительного покрова и т.д. [7, 8].

В геологическом строении территории района исследований принимают участие различные отложения, возраст которых изменяется от архея до голоцена. Платформенный чехол представлен отложениями палеозойской, мезозойской и кайнозойской групп. Огромный по продолжительности перерыв в осадконакоплении стал причиной того, что непосредственно на породах кристаллического фундамента чаще всего залегают отложения девонской системы. Отложения четвертичной системы на территории района широко распространены и повсеместно подстилаются отложениями палеогена, кровля которых вскрыта отдельными скважинами на глубинах от 2.0 до 25.0 м. Они представлены преимущественно песчаными отложениями эоцен-олигоцена и алевролитами, глинистыми песками, алевролитами, глинами; иногда песками кварцевыми, в различной степени глауконитовыми и глинистыми киевской свиты эоцена [9].

Методика исследований

В ходе исследований использовались следующие методы: электрическое профилирование методом сопротивлений (ЭП); вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений (ВЭЗ); метод естественного электрического поля (ЕЭП); геомагнитная съемка. Физические основы, стандартные методики полевых работ, обработки и интерпретации результатов указанных методов общеизвестны [4, 5, 6].

Малоглубинная модификация ЭП заключается в использовании серии измерений на малых разностях питающих электродов АВ (1, 3, 5, 10, 20 м), в двух положениях установки АМNB (перпендикулярно и параллельно линии профилирования).

В методе потенциала ЕЭП применялись измерительный прибор (мультиметр DM90E) и неполяризующиеся электроды системы ВИРГ. Погрешность измерений ± 1.5 мВ.

Малоглубинная модификация геомагнитной съемки представляет собой съемку по профилям или сети профилей с шагом 1–2 м (микросъемка).

Используемая аппаратура: электроразведочная аппаратура ERA-MAX; протонные магнитометры Geometrics G-857 и МПП-203.

Интерпретация данных ВЭЗ выполнялась с помощью специализированного программного обеспечения IPI2Win.

Район исследований – промышленная зона города Гомеля, включающая крупные химические, машиностроительные, литейные производства, полигоны химических и твердых коммунальных отходов, железнодорожные и автомобильные коммуникации, теплоэлектростанцию, магистральные газо- и нефтепроводы.

Результаты исследований и их обсуждение

Диагностика загрязнения зоны аэрации полигона химических отходов. Рассмотрим использование комплекса малоглубинной геоэлектрики на примере полигона твердых отходов Гомельского химического завода. В поверхностных водах на территории полигона в районе отвалов фосфогипса минерализация достигает 10–20 г/дм³, содержание сульфат-иона – 1–6 г/дм³, фосфора фосфатного – 1–5 г/дм³, иона-фтора – 1–5 г/дм³. Грунтовые воды в зоне влияния отвалов также загрязнены сульфат-ионом, фосфором фосфатным, ионами железа, фтора, аммония. Минерализация грунтовых вод составляет до 10–20 г/дм³ [7].

На территории полигона отходов и его окрестностях были выполнены ЭП на серии малых разносов АВ (3, 10 и 30 м) и ВЭЗ (по профилю А-Б, пересекающему отвалы).

Для территории, которая находится вне зоны влияния отвалов, характерно снижение кажущегося электрического сопротивления с эффективной глубиной исследований, что обусловлено наличием водоносного горизонта (по данным замеров в скважинах уровень грунтовых вод находится на глубине 2–5 м) и особенностями геологического строения верхней части

разреза (водноледниковые пески и супеси подстилаются моренными суглинками). Максимальные значения кажущегося сопротивления отмечаются на разносах АВ 3 и 10 м. В зоне отвалов для всего изучаемого разреза характерно низкое сопротивление (менее 10 Ом·м), что обусловлено высокой степенью засоления почвогрунтов и грунтовых вод.

На рисунке 1 приведена карта изолиний кажущегося электрического сопротивления (разнос АВ=3 м), из которой видно, что область отвалов фосфогипса почти полностью находится внутри изолинии 10 Ом·м. С трех сторон располагаются области относительно высокого сопротивления (100–500 и более Ом·м), которое обусловлено песчаным составом почвогрунтов. Только в северо-западном направлении от отвалов прослеживается «язык» зоны низкого сопротивления, совпадающий с направлением движения стока загрязненных вод. Четко видно также, что зона пониженного сопротивления (менее 10 Ом·м) существенно превышает по площади территорию самих отвалов и, вероятно, ограничивает ареал загрязнения почвогрунтов за счет миграции загрязняющих веществ от отвалов с поверхностным стоком.

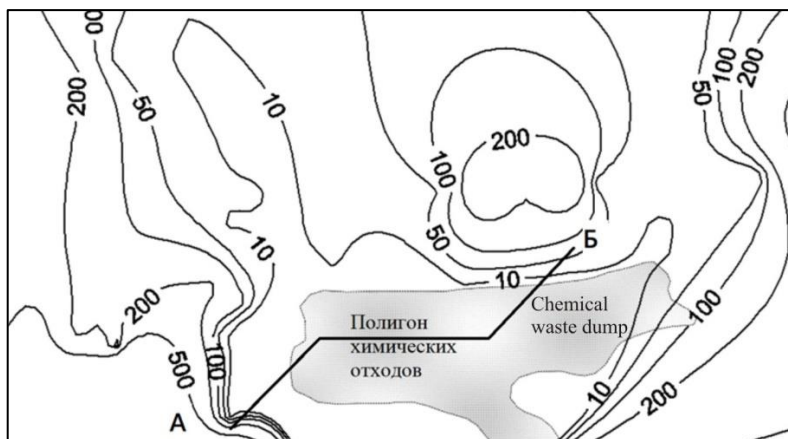


Рис. 1. Изолинии кажущегося электрического сопротивления (Ом·м) на эффективной глубине, соответствующей разносу АВ=3 м.

[Fig. 1. Isolines of apparent electrical resistivity (Ohm·m) at the effective depth corresponding to the АВ=3 m spacing.]

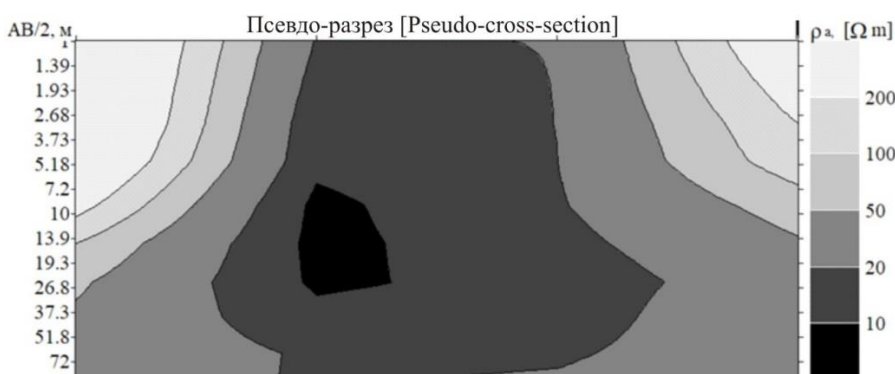


Рис. 2. Разрез кажущегося электрического сопротивления по профилю А-Б через полигон отходов (Ом·м).

[Fig. 2. Section of the apparent electrical resistivity along the АВ profile through the waste landfill (Ohm·m).]

На рисунке 2 показан разрез кажущегося сопротивления по профилю А-Б, полученный по данным ВЭЗ максимальный разнос питающих электродов АВ=180 м. Видно, что зона аэрации в области отвалов (средняя часть профиля) по всей эффективной глубине

исследований отличается низкими значениями кажущегося электрического сопротивления (менее 20 Ом·м). Это указывает на то, что на территории полигона отходов химическое загрязнение затрагивает не только самую верхнюю часть геологической среды

(почвогрунты), но проникает в первые от земной поверхности водоносные горизонты – грунтовый и межморенный (примерно до глубины 10–20 м). На данном разрезе также видна область с высокой степенью загрязнения (линза грунтовых вод с минерализацией 5–10 г/м³), в которой кажущееся сопротивление падает менее 10 Ом·м (рис. 2).

Выявление утечек загрязненных вод из каналов.

Для мониторинга и экспресс-оценки мест утечек загрязненных вод из каналов, отводящих сток с полигона химических отходов (минерализация воды в каналах составляет 2–10 г/м³; рН=3-4), нами был предложен следующий комплекс методов: профилирование методом естественного поля (с шагом 5 м); ЭП на разносах АВ=5-10 м; геомагнитная микросъемка (с шагом 2 м).

Выполненные геоэлектрические исследования позволили уточнить пространственную структуру естественного электрического поля, на которую влияют такие факторы, как: 1) рельеф отвалов отходов (относительно протяженные положительные аномалии потенциала или градиента потенциала естественного электрического поля, соответствующие склонам отвалов фосфогипса – до +25 мВ); 2) неоднородность растительного покрова (высокочастотные – на 1–2 пикета – отрицательные и положительные аномалии небольшой амплитуды – до 5 мВ); 3) захороненные металлические

конструкции, металлический мусор (высокочастотные – на 1–2 пикета – отрицательные и положительные аномалии небольшой амплитуды – до 10 мВ); 4) разгрузка грунтовых вод (положительные аномалии потенциала или градиента потенциала естественного электрического поля, амплитудой более 10 мВ, отмечаемые на 3 и более соседних пикетах); 5) инфильтрация поверхностных вод (отрицательные аномалии потенциала или градиента потенциала естественного электрического поля, амплитудой более 10 мВ, отмечаемые на 3 и более соседних пикетах).

Первые три фактора являются помехами, создавая «шум». В двух последних случаях аномалии потенциала или градиента потенциала естественного электрического поля имеют геофильтрационную природу и, соответственно, важное индикационное значение с точки зрения оценки направления миграции потоков загрязненных вод в зоне влияния отвалов отходов.

Зоны утечек загрязненных вод из отводного канала устанавливаются по отрицательным аномалиям потенциала ЕЭП (амплитуда 10–30 мВ и более), пространственно совпадающим с отрицательными аномалиями кажущегося электрического сопротивления на профиле ЭП (в зависимости от литологических особенностей вмещающих техногенных грунтов – в 1.5–3 раза относительно фона).

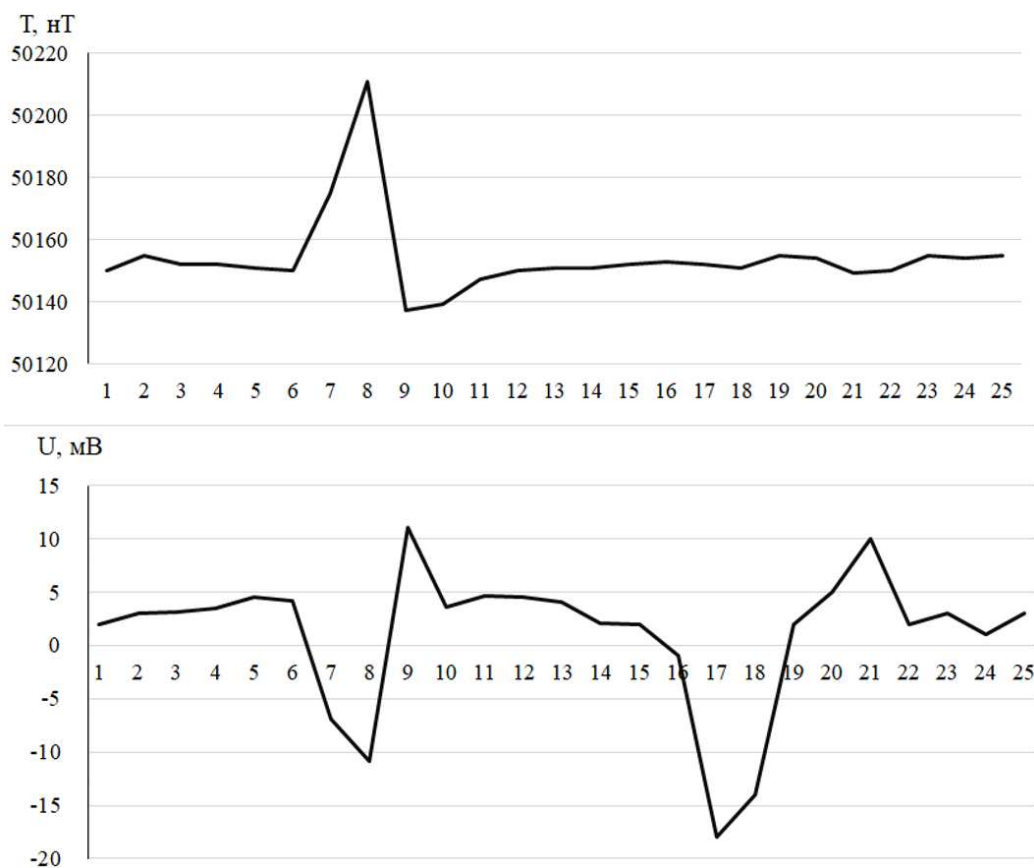


Рис. 3. Геомагнитная микросъемка и измерения потенциала ЕЭП по профилю вдоль отводного канала полигона химических отходов.

[Fig. 3. Geomagnetic microsurvey and measurements of the SES potential throughout the profile along the drainage canal of the chemical waste landfill.]

Ложные аномалии потенциала ЕЭП отбраковываются с помощью геомагнитной микросъемки. Ложной считается аномалия указанных показателей, связанная не с движением вод, а с металлическим мусором. Так, на рисунке 3 приводятся результаты геомагнитной микросъемки и измерения потенциала ЕЭП по профилю вдоль канала. Совпадающие аномалии геомагнитного поля и потенциала ЕЭП (в районе 7–9 пикетов), вероятно, обусловлены неким металлическим объектом, захороненным на небольшой глубине (до 2–3 м). В районе 17–21 пикетов четко прослеживается аномалия потенциала ЕЭП (амплитудой 10–30 мВ), при этом в геомагнитном поле никаких отклонений нет. Здесь, вероятно, наблюдается эффект, вызванный движением поверхностных вод из канала в горизонты подземных вод.

Поиск захороненных техногенных объектов. Захороненные техногенные объекты – это любые искусственные сооружения, их элементы, как функционирующие, так и заброшенные. Такие объекты весьма разнообразны по величине и своему бывшему назначению: от металлического мусора, снарядов и авиационных бомб до зданий и сооружений. Наиболее часто встречающиеся задачи связаны с поисками труб заброшенных коллекторов, фундаментов зданий, различных археологических объектов.

Поскольку захороненные техногенные объекты очень разнообразны, то их отражение в геофизических полях также значительно изменяется. Так, железные предметы и конструкции (боеприпасы, трубы и т.д.) будут четко фиксироваться в виде значительных по амплитуде аномалий геомагнитного поля. Фундаменты зданий и сооружений, как правило, менее выражены в геомагнитном поле, соответственно, выявление их геомагнитной съемкой зависит от особенностей геологического строения вмещающей геологической среды. В то же время, эти объекты хорошо выявляются по геоэлектрическим аномалиям (методы сопротивлений), поскольку чаще всего (но не всегда) имеют более высокое удельное электрическое сопротивление по сравнению с вмещающей геологической средой. Именно комплексирование геофизических методов позволяет избегать ошибок интерпретации при поисках разнообразных захороненных техногенных объектов.

Рассмотрим использование комплекса малоглубинной геофизики при поиске погребенного фундамента бывшего корпуса производства. Верхняя часть здания была полностью разрушена в конце XX века. Верхняя часть геологического разреза представлена культурным слоем и с глубины 0.5–1 м флювиогляциальными супесями днепровского подгоризонта припятского горизонта.

Для поиска погребенного фундамента использован комплекс, состоящий из геомагнитной микросъемки и электрического профилирования методом сопротивлений на малых разностях. Геомагнитная микросъемка проводилась по 3 профилям, предположительно пересекающим объект. Шаг съемки 2 м. Электрическое профилирование выполнялось установкой Веннера

(MN=3, AB=9 м). Шаг профилирования 6 м. Длина профилей 60 м.

Результаты геомагнитной съемки и электрического профилирования приведены на рисунке 4. В центральной части всех трех профилей микромагнитной съемки обнаруживается положительная аномалия амплитудой 200–300 нТл (около 10–14 м). Форма и амплитуда этой аномалии на разных профилях несколько отличается, но в целом схожа. На графике электрического профилирования аномалия электрического сопротивления еще более выражена (рисунок 4). На участке пикетов 5 и 6 кажущееся электрическое сопротивление увеличивается на порядок (с 80–100 Ом·м до 1122–1790 Ом·м).

Положительная аномалия геомагнитного поля указывает на повышенное содержание железа на данном участке, а высокое кажущееся электрическое сопротивление на глубине 1–3 м подтверждает, что обнаружен именно фундамент здания. Сочетание положительной геомагнитной аномалии с аномалией низкого электрического сопротивления было бы характерно для техногенного объекта иного рода, например, трубопровода.

Благоприятным условием в данном случае является то, что супесчаный состав вмещающей геологической среды, по сравнению с которым бетонные конструкции и кирпичная кладка характеризуются большим количеством железистых частиц. Кроме того, техногенный объект захоронен близко к земной поверхности (менее 1 м).

Заключение

Электрическое профилирование методом сопротивлений на серии малых разностей и вертикальное электрическое зондирование позволяют достаточно эффективно исследовать химическое загрязнение зоны аэрации под полигоном токсичных отходов по глубине и по латерали. Очаг загрязнения четко отображается в виде аномалии низкого кажущегося электрического сопротивления. Структура изолиний кажущегося сопротивления почвогрунтов показывает направление движения загрязненных поверхностных вод.

Утечки загрязненных вод из отводных каналов фиксируются по отрицательным аномалиям естественного электрического поля, совпадающим с аномалиями низкого кажущегося сопротивления по данным электропрофилирования. Для отбраковки аномалий, не связанных с утечками загрязненных вод, предложено использовать геомагнитную микросъемку.

Комплексирование геоэлектрического и геомагнитного методов также может использоваться при поиске захороненных техногенных объектов, которые в зависимости от своих свойств будут индифицироваться соответствующими аномалиями кажущегося сопротивления и геомагнитного поля.

Таким образом, предложенный комплекс малоглубинной геофизики позволяет оперативно решать широкий круг задач по диагностике состояния геологической среды промышленных комплексов.

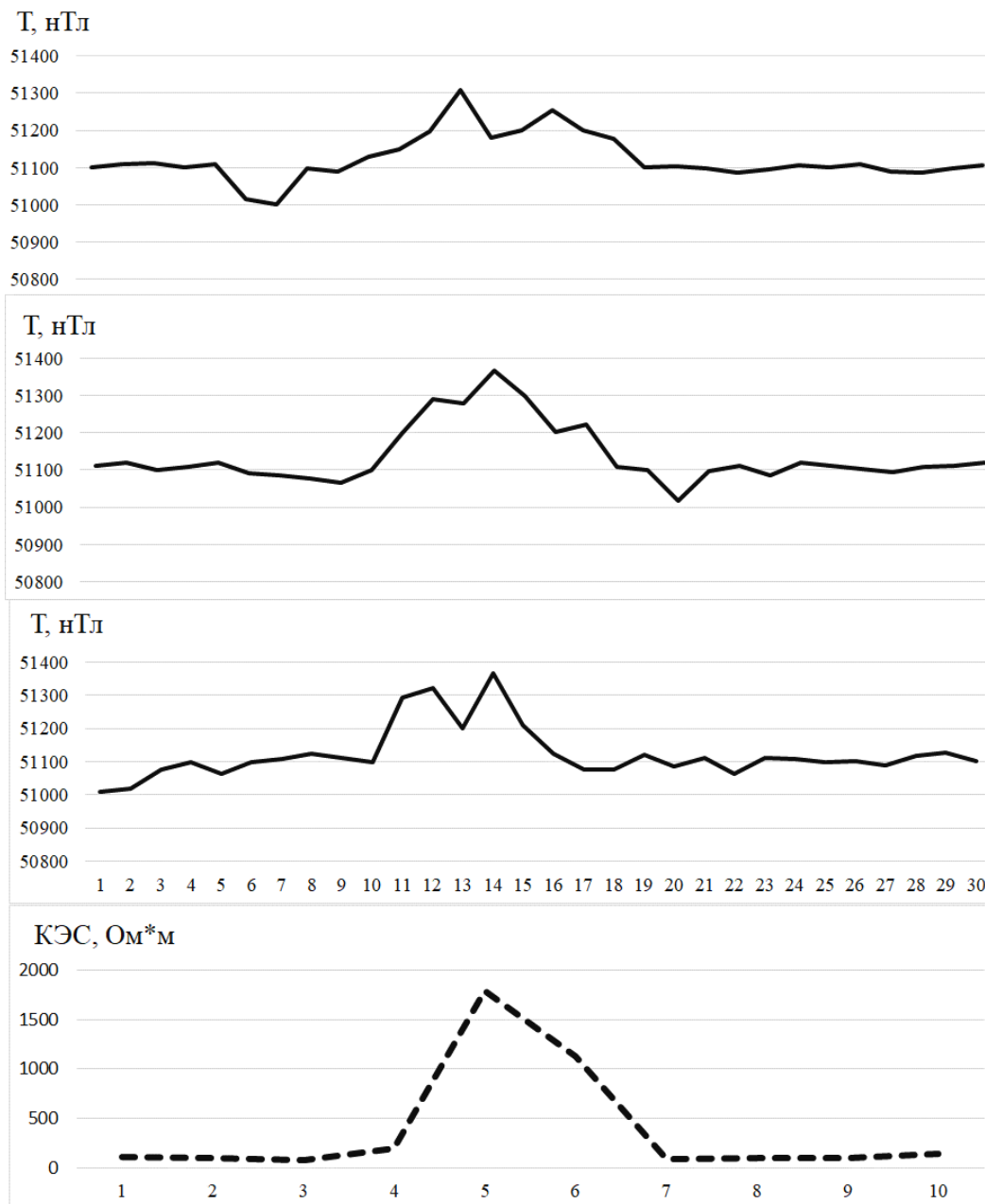


Рис. 4. Профили геомагнитной микросъемки (1-3) и ЭП методом сопротивлений (4).
[Fig. 4. Profiles of the geomagnetic microsurvey (1-3) and electric resistivity field (4).]

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. Иркутск, ИрГТУ, 1995. 216 с.
2. Манштейн А. К. Малоглубинная геофизика. Пособие по спецкурсу. Новосибирск: НГУ. 2002. 135 с.
3. Гершанок Л. А. Малоглубинная магниторазведка в условиях промышленных помех // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2013. Вып. 1 (18). С. 34–50.
4. Рудкин М. Д., Балоян Б. М., Хмелевской В. К. Геофизика на службе экологов, геологов и не только....: Теория и практика. М.: Изд-во «Угреша», 2018. 513 с.
5. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике

- для студентов геофизических специальностей. Под ред. В.К. Хмелевского, И.Н. Модина, А.Г. Яковлева. М.: МГУ, 2005. 311 с.
6. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.
7. Гусев А. П. Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2015. №1. С. 128–131.
8. Гусев А. П., Верутин М. Г., Калейчик П. А., Прилуцкий И. О., Шаврин И. А. Геоэлектрическая диагностика загрязнения геологической среды в зоне влияния полигона токсичных отходов // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2019. Т.18. №1. С. 79–85.
9. Трацевская Е. Ю. Инженерно-геологические условия города Гомеля. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины, 2005. 210 с.

Shallow geophysics in assessing the state of the geological environment of industrial areas (based on the example of the solid waste landfill of the Gomel chemical plant)

©2021 A. P. Gusev[✉], V. L. Molyarenko, A. I. Pavlovsky, I. O. Prilutsky, S. V. Andrushko

Francisk Skorina Gomel State University, 104 Sovietskaya ul., Gomel 246003, Republic of Belarus

Abstract

Introduction: The goal of the research is the development and testing of a shallow geophysics complex for assessing the state of the geological environment of an industrial area based on the example of a solid waste landfill of the Gomel chemical plant. The problems to be solved are the following: diagnostics of the pollution of the aeration zone of the chemical waste landfill, identification of the polluted water leakage from the canals, and the search for buried technogenic structures.

Methodology: The geophysical studies were conducted using the methods of electrical resistance profiling, vertical electrical resistance sensing, natural electric field method, and geomagnetic survey. We used the following technical equipment: ERA-MAX electrical exploration equipment and GeometricsG-857 and MPP-203 proton magnetometers.

Results and discussion: We considered the use of the shallow geophysics complex in assessing the state of the geological environment in the area affected by the solid waste landfill of the Gomel chemical plant. Electrical profiling on the AB = 3 m spacing allowed identifying the area of high chemical pollution of the soil (apparent resistivity less than 10 Ohm·m). According to the data from vertical electrical resistance sensing, the chemical pollution in the area of the waste pile expressed in the region of anomalously low apparent resistivity influences not only the soil but also the ground sources and intermorainic aquifers (approximately to the depth of 10–20 m). Using profiling with a set of methods along the drainage canal, we determined the areas of polluted water leakage diagnosed by negative gradient anomalies of the natural electric field potential (with the amplitude of 30–40 mV). The use of a geomagnetic survey combined with electrical profiling allowed identifying the buried basement.

Conclusion. The suggested shallow geophysics complex allows solving a wide range of problems related to the diagnostics of the geological environment of industrial areas.

Keywords: shallow geophysics, geological environment, geoelectric methods, geomagnetic survey.

Funding: This work was funded by State Research Programmes as a part of the “Belarusian mineral resources” sub-programme and the research project named “Development of a geological and informational model of the Cenozoic deposits in Gomel Region as the basis of sustainable and environmentally sound use of mineral resources”.

For citation: Gusev A. P., Molyarenko V. L., Pavlovsky A. I. Shallow geophysics in assessing the state of the geological environment of industrial areas (based on the example of the solid waste landfill of the Gomel chemical plant). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2021, no. 4, pp. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.4/3791>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Andrey P. Gusev, andi_gusev@mail.ru

REFERENCES

1. Vakhromeev G.S. *Ekologicheskaya geofizika* [Environmental geophysics]. Irkutsk, IrGTU publ., 1995. 216 p. (in Russ).
2. Manshtein A. K. *Maloglubinnaya geofizika. Posobie po spekursu* [Shallow geophysics. Special course manual]. Novosibirsk, NSU publ., 2002, 135 p. (in Russ).
3. Gershanok L. A. Shallow magnetic prospecting in conditions of industrial interference. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya – Bulletin of the Perm University. Geology*, 2013, no. 1 (18), pp. 34–50. (in Russ).
4. Rudkin M. D., Baloyan B. M., Khmelevskoy V. K. *Geofizika na sluzhbe ekologov, geologov ne tol'ko...: Teoriya i praktika* [Geophysics at the service of ecologists, geologists and not only ...: Theory and practice]. Moscow, Ugresha publ., 2018, 513 p. (in Russ).
5. *Elektrozvedka: posobie po elektrozvedochnoj praktike dlya studentov geofizicheskikh special'nostej* [Electrical prospecting: a guide to electrical exploration practice for students of geophysical specialties]. Ed. V. C. Khmelevsky, I. N. Modina, A. G. Yakovleva. Moscow: Moscow State University publ., 2005, 311 p. (in Russ).
6. Ogilvi A. A. *Osnovy inzhenernoj geofiziki* [Fundamentals of Engineering Geophysics]. Moscow, Nedra Publ., 1990, 501 p. (in Russ).
7. Gusev A. P. Fitoindikator tekhnogenogo podtopleniya v zone vliyaniya poligona promyshlennyh othodov [Phytoindicators of technogenic flooding in the zone of influence of the industrial waste landfill]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2015, no. 1, pp. 128–131. (in Russ).
8. Gusev A. P., Verutin M. G., Kaleichik P. A., Prilutskiy I. O., Shavrin I. A. Geoelectric diagnostics of contamination of the geological environment in the zone of influence of the landfill of toxic waste. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya – Bulletin of the Perm University. Geology*, 2019, vol.18, no. 1, pp. 79–85. (in Russ).
9. Tratsevskaya E. Yu. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya goroda Gomelya* [Geotechnical conditions of the city of Gomel]. Gomel, GSU Publ, 2005, 210 p. (in Russ).

Андрей Петрович Гусев – к. г.-м. н., декан геолого-географического факультета, доцент кафедры геологии и географии, ГГУ им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, E-mail: andi_gusev@mail.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-1169-1172>

Владимир Леонидович Моляренко – старший преподаватель кафедры геологии и географии, ГГУ им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, E-mail: molyarenko-vova@bk.ru

Александр Илларионович Павловский – к. г. н., доцент, заведующий кафедрой геологии и географии, доцент, ГГУ им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, E-mail: aipavlovsky@mail.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2211-2559>

Игорь Олегович Прилуцкий – старший преподаватель кафедры геологии и географии, ГГУ им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, E-mail: igorprilutsky@mail.ru

Светлана Владимировна Андрушко – к. г. н., доцент кафедры геологии и географии ГГУ им. Ф. Скорины, Республика Беларусь, E-mail: sandrushko@list.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8940-6466>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Andrey P. Gusev – PhD in Geol.-Min., dean of the Faculty of Geology and Geography, associate professor of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus, E-mail: andi_gusev@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1169-1172>

Vladimir L. Molyarenko – senior lecturer of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus, E-mail: molyarenko-vova@bk.ru

Alexander I. Pavlovsky – PhD in Geogr., head of the Department of Geology and Geography, associate professor of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus, E-mail: aipavlovsky@mail.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0003-2211-2559>

Igor O. Prilutsky – senior lecturer of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus, E-mail: igorprilutsky@mail.ru

Svetlana V. Andrushko – PhD in Geogr., associate professor of the Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus, E-mail: sandrushko@list.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8940-6466>

All authors have read and approved the final manuscript.