

DOI:

УДК 504.5+550.837

**ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Гусев Андрей Петрович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, декан геолого-географического факультета, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, andi_gusev@mail.ru

Калейчик Павел Альбертович – аспирант, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

Шаврин Илья Александрович – аспирант, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, karni9339@gmail.com

Аннотация: в статье рассматриваются результаты изучения химического загрязнения геологической среды геоэлектрическим методом. Объект исследований – полигон химических отходов. В ходе исследований выполнено: 1) картирование загрязнения грунтовых вод и грунтов зоны аэрации на территории полигона химических отходов и в зоне его влияния; 2) картирование загрязнения почвогрунтов. Выполнено горизонтальное электрическое профилирование методом сопротивлений с помощью симметричной четырехэлектродной установки AMNB (разносы электродов – АВ = 1,5 м, MN = 0,5 м; АВ = 3 м, MN = 1 м; АВ = 10 м, MN = 3 м; АВ = 30, MN = 10 м) и резистивиметрия водных вытяжек проб почвогрунтов и поверхностных вод. Для фоновой территории характерны относительно высокие значения удельного электрического сопротивления – сотни Ом·м. С глубиной электрическое сопротивление снижается за счет роста влажности пород (до 70...200 Ом·м). Установлено, что для территории отвалов токсичных отходов характерно низкое удельное электрическое сопротивление (менее 10 Ом·м) верхней части геологической среды. Снижение электрического сопротивления обусловлено увеличением минерализации грунтовых вод (до 20 и более г/дм³) и засоления почвогрунтов (1,5...3 г/дм³), что подтверждается геохимическими исследованиями. В зоне влияния полигона отходов значения удельного электрического сопротивления не превышают 100 Ом·м. Наблюдается увеличение электрического сопротивления по разрезу сверху вниз. Изолиния кажущегося электрического сопротивления 10 Ом·м может служить границей зоны распространения загрязненного поверхностного стока с отвалов. Дифференциация удельного электрического сопротивления в изучаемом интервале глубин отражает особенности движения фронта загрязнения.

Ключевые слова: геоэлектрический метод, химическое загрязнение, геологическая среда, полигон отходов, удельное электрическое сопротивление, зона влияния.

Введение. Геоэлектрика (электроразведка) – комплекс геофизических методов, основанных на использовании электромагнитных полей, параметры которых зависят от физических свойств грунтов, вод и технических элементов [1, 2]. Использование геоэлектрических методов при оценке и картографировании загрязнения почвогрунтов базируется на взаимосвязи между их электрическим сопротивлением и засолением, т.е. содержанием солей. Между электропроводностью почвы и сухим остатком водной вытяжки существует высокая степень корреляции: коэффициент корреляции

составляет 0,96...0,97 [3].

Геоэлектрика методом сопротивлений может использоваться при изучении загрязнения компонентов геологической среды различными способами:

– измерение сопротивления в стенках разреза (по шурфам, канавам и прочим выработкам);

– электрическое профилирование на небольших разносах питающих электродов – АВ – 1,5...10 м (картирование загрязнения);

– вертикальное электрическое зондирование (изучение изменения загрязнения с глубиной – от поверхности до подошвы зоны аэрации);

– резистивиметрическое опробование

почв (измерение сопротивления водных вытяжек из проб почв и грунтов);

– резистивиметрия поверхностных вод (временные и постоянные водоемы и водотоки).

Геоэлектрические методы являются надежным способом выявления и картирования инфильтрации вод из каналов, водохранилищ, шламохранилищ и т.д. По геоэлектрическим параметрам можно судить о зонах трещиноватости (разуплотнения) в дамбах. Так, методы электрических сопротивлений и естественного электрического поля широко используется для контроля состояния дамб шламохранилищ калийных комбинатов [4], дамб прудов [5].

Геоэлектрические методы широко используются для изучения загрязнения подземных вод [6]. Так, вертикальные электрические зондирования методом сопротивлений использовались для изучения загрязнения вблизи свалки бытовых отходов на юго-западе Нигерии. Ареал загрязнения подземных вод был выделен по аномально низкому сопротивлению – до 50 Ом·м [7]. Комплексные геоэлектрические и гидрогеохимические исследования подтвердили техногенную природу аномалий низкого сопротивления в зоне влияния свалки бытовых отходов [8]. По результатам геоэлектрических исследования в Польше (полигон отходов Урбановице) обнаружена достоверная корреляция между данными, полученными методом электрического сопротивления, и гидрогеологическими данными. Геоэлектрический метод рекомендован для мониторинга загрязнения подземных вод в зоне влияния полигона отходов [9].

Геоэлектрический метод используется также для изучения нефтяного загрязнения подземных вод и грунтов. Указывается, что под влиянием биodeградации нефти в грунтах зона загрязнения индицируется низким удельным электрическим сопротивлением. Для различения загрязненных и незагрязненных участков предложено петрофизическое моделирование как основа расчета удельного сопротивления породы на основе геоэлектрических показателей подземных вод [10].

Объект и методика исследований. Объект исследований – компоненты геологической среды в зоне влияния техногенного

объекта – полигона химических отходов.

Целью наших исследований являлось изучение загрязнения геологической среды в зоне влияния полигонов отходов геоэлектрическим методом. Решались следующие задачи:

– картирование загрязнения грунтовых вод и грунтов зоны аэрации на территории полигона химических отходов и в зоне его влияния;

– картирование загрязнения почвогрунтов.

Методы исследования:

– горизонтальное электрическое профилирование (ГЭП) методом сопротивлений с помощью симметричной четырехэлектродной установки AMNB (разносы электродов – АВ = 1,5 м, MN = 0,5 м; АВ = 3 м, MN = 1 м; АВ = 10 м, MN = 3 м; АВ = 30, MN = 10 м);

– резистивиметрия водных вытяжек проб почвогрунтов и поверхностных вод (49 проб).

Шаг профилирования 10...50 м. Полевые измерения проводились с помощью электро-разведочной аппаратуры ERA-MAX.

Для резистивиметрии применялась лабораторная установка для определения удельного электрического сопротивления на основе резистивиметра и аппаратуры АЭ-72.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим применение геоэлектрических методов на примере полигона твердых отходов завода по производству фосфорных, азотно-фосфорных и азотно-фосфорно-калийных удобрений. Отходы представлены фосфогипсом, отвалы которого формируют специфический техногенный ландшафт и являются источником загрязнения компонентов геологической среды [11...13].

На территории полигона отходов и его окрестностях были выполнены ГЭП на различных разносах АВ – 1,5, 3, 10 и 30 м. Известно, что эффективная глубина проникновения тока в однородном полупространстве приблизительно равна 0,25 расстояния между питающими электродами А и В. В неоднородной слоистой среде глубина проникновения тока зависит от соотношения мощностей и сопротивлений слоев в геологическом разрезе. В большинстве случаев глубина проникновения тока (т.е. глубина исследований) изменяется в пределах 0,1...0,25

расстояния между электродами А и В. Исходя из этого, приблизительная глубина наших исследований составляла от 0,3 до 10 м. Поскольку геологический разрез неоднороден по своим электрическим свойствам, то измеряется кажущееся удельное электрическое сопротивление [14].

Обобщенные результаты геоэлектрических исследований приводятся в табл. 1. Для фоновой территории характерны относительно высокие значения удельного электрического сопротивления – сотни Ом·м. Снижение электрического сопротивления происходит 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). В результате роста влажности зоны аэрации сопротивление на разносе АВ = 30 м снижается до 70...200 Ом·м (в 2,4 раза по сравнению с самой верхней частью разреза). Максимальные значения кажущегося сопротивления отмечаются на разносах питающих электродов АВ 1,5 и 3 м (табл. 1).

Таблица 1

Кажущееся электрическое сопротивление (Ом·м) по данным ГЭП на разных эффективных глубинах

| Зона | Величина разности питающих электродов АВ, м | | | |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | 30 | 10 | 3 | 1,5 |
| Фоновая территория | 155,0* 70...200** | 226* 110...350** | 335,3 123...882 | 378,9 181...659 |
| Зона влияния полигона химических отходов | 71,5 30,5...110,2 | 66,0 34,0...95,4 | 33,9 9,5...50,0 | 21,8 8,2...80,4 |
| Полигон химических отходов | 5,1 3,0...9,5 | 6,8 5,0...12,6 | 11,8 5,7...27,1 | 8,4 3,5...23,6 |

Примечание: * – среднее значение; ** – минимальное и максимальное значения.

В зоне отвалов токсичных отходов для всего изучаемого разреза характерно низкое удельное электрическое сопротивление (менее 10 Ом·м), что обусловлено высокой степенью засоления грунтов и грунтовых вод. Геохимические опробования показывают, что в водных вытяжках почвогрунтов содержание сухого остатка составляет 1,5...3 г/дм³, сульфат-иона – 0,8...1 г/дм³, фтор-иона – до 0,5 г/дм³. В грунтовых водах содержание сухого остатка составляет от 1...5 до 20 и более г/дм³.

В зоне влияния полигона отходов (до 100 м от границы отвалов по направлению поверхностного и подземного стока) значения удельного электрического сопротивления, как правило, не превышают 100 Ом·м. Наблюдается увеличение электрического сопротивления по разрезу сверху вниз: наименьшее сопротивление имеет самая верхняя часть разреза – первые десятки см. Видно, что по мере увеличения глубины электрическое сопротивление возрастает (примерно в 2 раза). Этот факт указывает на то, что источником химического загрязнения в этой зоне являются поверхностные воды, а

направление движения загрязненных вод по вертикали – нисходящее. На расстоянии 100...200 м от границы полигона химических отходов по направлению стока дифференциация разреза по электрическому сопротивлению невысокая, а по сравнению с полигоном отходов сопротивление увеличивается на порядок (табл. 1).

На рис. 1 приведена карта изолиний удельного электрического сопротивления на глубине, соответствующей разносу питающих электродов АВ = 3 м. Видно, что область полигона химических отходов почти полностью находится внутри изолинии 10 Ом·м.

С западной, южной и восточной стороны находятся области относительно высокого сопротивления (100...500 и более Ом·м), обусловленного песчаным составом почвогрунтов. В северо-западном направлении от полигона отходов четко выражен «язык» зоны низкого сопротивления, индицирующий направление поверхностного и грунтового стока загрязненных вод.

На рис. 1 четко видно, что зона пониженного сопротивления (менее 10 Ом·м)

существенно превышает по площади территорию самого полигона отходов и, предположительно, отграничивает ареал загрязнения грунтовых вод и почвогрунтов за счет миграции загрязняющих веществ от отвалов с поверхностным стоком.

Несмотря на неоднородный состав верхней части геологической среды (фосфогипс, пески, супеси, суглинки,

строительный мусор, захороненные почвы) и колебания уровня грунтовых вод, аномалия низкого сопротивления на территории полигона отходов и в зоне его влияния прослеживается очень хорошо, что вероятно обусловлено высокой степенью засоления как поверхностных и грунтовых вод, так и грунтов.

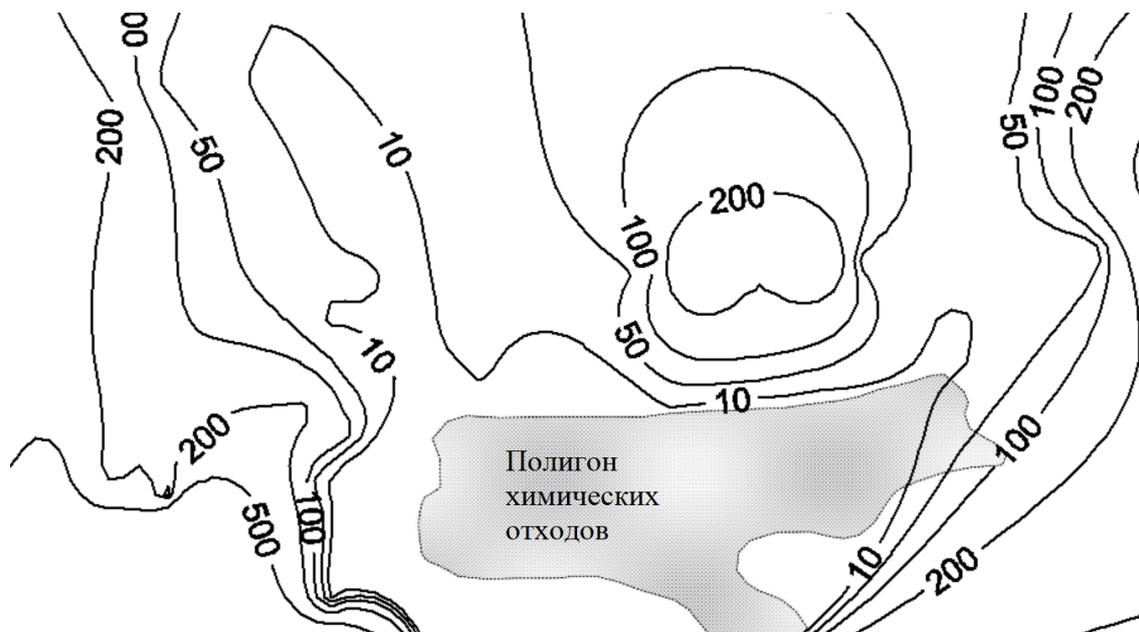


Рис. 1. Изолинии кажущегося электрического сопротивления (Ом·м) на эффективной глубине, соответствующей разному питающих электродов АВ = 3 м

Изменения кажущегося электрического сопротивления на эффективной глубине, соответствующей разному АВ = 10 м, приведены для профиля, пересекающего территорию полигона с запада на восток (рис. 2). Вне полигона (обе крайние части профиля – 1...3 и

17...19) значения сопротивления изменяются в пределах 100...300 Ом·м. На территории полигона отходов удельное электрическое сопротивление не превышает 50 Ом·м, местами снижаясь до 5...7 Ом·м.

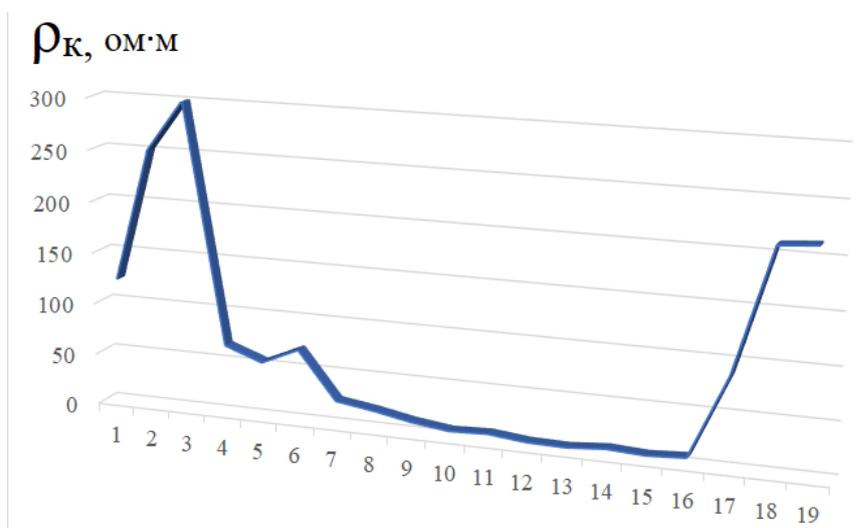


Рис. 2. Результаты ГЭП по профилю, пересекающему полигон химических отходов (разнос питающих электродов АВ = 10 м)

Резистиметрические исследования были проведены на северной окраине и на территории полигона отходов. Отбирались пробы почвогрунта (до 20 см глубиной) и поверхностных вод. Удельное сопротивление водных вытяжек из проб почвогрунта (отношение воды к почвогрунту 5:1) и поверхностных вод измерялась в лаборатории на стационарном резистивиметре. Установлено, что полученные значения удельного электрического сопротивления изменялись в пределах от единиц до первых сотен Ом·м. На территории полигона отходов

значения удельного сопротивления указанных компонентов геологической среды снижались до 3...10 Ом·м, что примерно соответствует минерализации 3...10 г/дм³ (по данным [3]). В свою очередь, геохимические опробования поверхностных вод, как указывалось, выше, дают схожие значения по содержанию сухого остатка. Резистивиметрия позволяет охватить территорию более-менее однородной сетью опробований, которые по затратам существенно экономнее соответствующих геохимических работ.

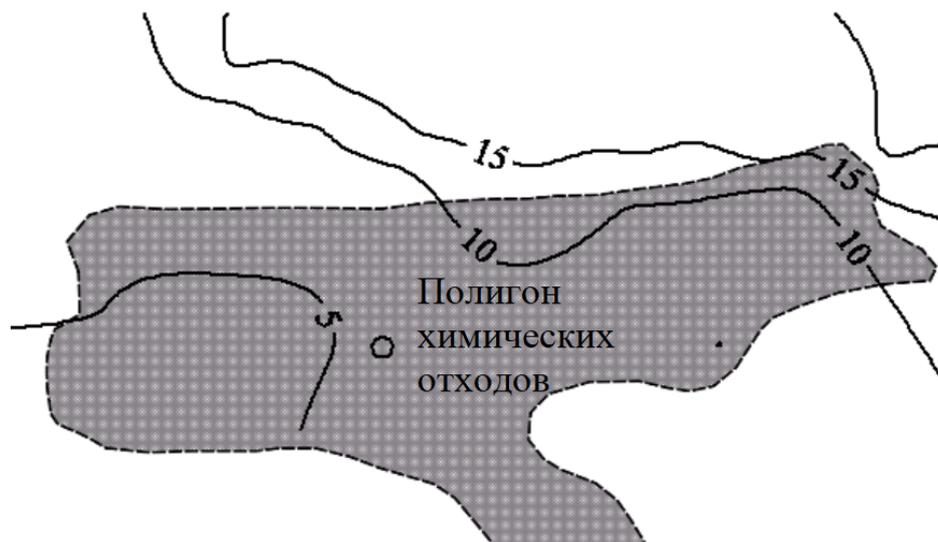


Рис. 3. Изолинии удельного электрического сопротивления (Ом·м) водных вытяжек почвогрунтов и поверхностных вод

Заключение. Наши исследования показывают, что техногенное загрязнение верхней части геологической среды на территории полигона химических отходов и в зоне его влияния четко индицируется аномалией низкого кажущегося удельного электрического сопротивления (менее 10 Ом·м), измеряемого на разносах питающих электродов 1,5...30 м. Изолиния кажущегося электрического сопротивления 10 Ом·м может служить границей зоны распространения загрязненного поверхностного стока с отвалов. Дифференциация удельного электрического сопротивления в изучаемом интервале глубин отражает особенности движения фронта загрязнения.

Таким образом, метод электропрофилирования на серии разносов питающих электродов АВ 1,5...30 м позволяет быстро и эффективно оценить химическое загрязнение верхней части геологической среды.

Применение геоэлектрических методов для изучения состояния экологически опасных техногенных объектов дает возможность осуществлять непрерывные площадные наблюдения при относительно низкой стоимости работ, без бурения скважин и нарушения растительно-почвенного покрова горными выработками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. Иркутск: ИрГТУ, 1995. 216 с.
2. Хмелевской В.К., Костицын В.И. Основы геофизических методов: учебник для вузов. Пермь: ПГУ, 2010. 400 с.
3. Поздняков А.И., Шеин Е.В., Федорова А.В., Шваров А.П., Яковлева Л.В. Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления. Астрахань: АГУ, 2013. 71 с.

4. Прохоров Н.Н. Взаимосвязь электрических параметров и фильтрационных характеристик грунтов дамб шламохранилищ Солигорского промрайона // Горная механика. 2007. №3. С. 76-86.

5. Фоменко Н.Е. Диагностика состояния прудовых плотин комплексом электроразведочных методов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. №1. С. 26-32.

6. Frohlich R.K., Urich D.W., Fuller J., O'Reilly M. Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment // Journal of Applied Geophysics. 1994. Vol. 32 (2-3). P. 139-154.

7. Lateef T.A., Eluwole A.B., Adewa D.J. Geoelectrical Assessment of the Impact of the Ilokun Dumpsite, Ado Ekiti Southwestern Nigeria, on Surrounding Groundwater Aquifers // International Letters of Natural Sciences. 2015. Vol. 40. P. 41-47.

8. Sunday B., Easter A.K. Integrated Geophysical and Hydrochemical Investigation of Pollution Associated with the Para-Mokin Dumpsite, South-western Nigeria // American International Journal of Contemporary Research. 2014. Vol. 4. №2. P.150-160.

9. Mycka M., Mendecki M.J. An application of geoelectrical methods for contamination plume recognition in Urbanowice waste disposal // Contemporary Trends in Geoscience. 2014. Vol. 2. P. 42-47.

10. Shevnin V., Delgado-Rodríguez O., Mousatov A., Nakamura-Labastida E., Mejía-Aguilar A. Oil pollution detection using resistivity sounding // Geofísica Internacional. 2003. Vol. 42. №4. P. 613-622.

11. Гусев А.П., Шершнева О.В., Павловский А.И., Прилуцкий И.О. Экологическое состояние и прогноз трансформации ландшафтов в условиях влияния химического производства (на примере Гомельского химического завода) // Безопасность в техносфере. 2011. №3. С. 7-12.

12. Гусев А.П., Шершнева О.В., Павловский А.И., Прилуцкий И.О., Акулевич А.Ф. Особенности формирования ландшафтно-геохимических барьеров в зоне влияния отходов химических производств (Гомельский химический завод) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. №2. С. 147-152.

13. Гусев А.П. Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. №1. С. 128-131.

14. Матвеев Б.К. Электроразведка. М.: Недра, 1990. 368 с.

REFERENCES

1. Vahromeev G.S. Ehkologicheskaya geofizika. Irkutsk: IrGTU, 1995.216 p.

2. Hmelevskoj V.K., Kosticyn V.I. Osnovy geofizicheskikh metodov: uchebnik dlya vuzov. Perm': PGU, 2010. 400 p.

3. Pozdnyakov A.I., Shein E.V., Fedorova A.V., Shvarov A.P., Yakovleva L.V. Ocenka zasoleniya pochv i gruntovyh vod metodami ehlektricheskogo soprotivleniya: uchebnoe posobie. Astrahan': AGU, 2013. 71 p.

4. Prohorov N.N. Vzaimosvyaz' ehlektricheskikh parametrov i fil'tracionnykh harakteristik gruntov damb shlamohranilishch Soligorskogo promrajona // Gornaya mekhanika. 2007. №3. P. 76-86.

5. Fomenko N.E. Diagnostika sostoyaniya prudovykh plotin kompleksom ehlektrorazvedochnykh metodov // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka. 2015. №1. P. 26-32.

6. Frohlich R.K., Urich D.W., Fuller J., O'Reilly M. Use of geoelectrical methods in groundwater pollution surveys in a coastal environment // Journal of Applied Geophysics. 1994. Vol. 32 (2-3). P. 139-154.

7. Lateef T.A., Eluwole A.B., Adewa D.J. Geoelectrical Assessment of the Impact of the Ilokun Dumpsite, Ado Ekiti Southwestern Nigeria, on Surrounding Groundwater Aquifers // International Letters of Natural Sciences. 2015. Vol. 40. P. 41-47.

8. Sunday B., Easter A.K. Integrated Geophysical and Hydrochemical Investigation of Pollution Associated with the Para-Mokin Dumpsite, South-western Nigeria // American International Journal of Contemporary Research. 2014. Vol. 4. №2. P. 150-160.

9. Mycka M., Mendecki M.J. An application of geoelectrical methods for contamination plume recognition in Urbanowice waste disposal // Contemporary Trends in Geoscience. 2014. Vol. 2. P.42-47.

10. Shevnin V., Delgado-Rodríguez O., Mousatov A., Nakamura-Labastida E., Mejía-Aguilar A. Oil pollution detection using resistivity sounding // Geofísica Internacional. 2003. Vol. 42. №4. P. 613-622.

11. Gusev A.P., Shershnev O.V., Pavlovskij A.I., Priluckij I.O. Ehkologicheskoe sostoyanie i prognoz transformacii landshaftov v usloviyah vliyaniya himicheskogo proizvodstva (na primere Gomel'skogo himicheskogo zavoda) // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2011. №3. P. 7-12.

12. Gusev A.P., Shershnev O.V., Pavlovskij A.I., Priluckij I.O., Akulevich A.F. Osobennosti formirovaniya landshaftno-geohimicheskikh bar'erov v zone vliyaniya othodov himicheskikh proizvodstv (Gomel'skij himicheskij zavod) // Geoehkologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 2013. №2. P. 147-152.

13. Gusev A.P. Fitoindikatory tekhnogenogo podtopleniya v zone vliyaniya poligona promyshlennykh othodov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. 2015. №1. P. 128-131.

14. Matveev B.K. Ehlektorazvedka. M.: Nedra, 1990. 368 p.

GEOELECTRIC DIAGNOSTICS OF TECHNOGENIC POLLUTION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Gusev A.P., Kaleychik P.A., Shavrin I.A.

Annotation: the article discusses the results of studying the chemical pollution of the geological environment by the geoelectric method. The object of research is a landfill of chemical waste. In the course of the research, 1) mapping of the pollution of ground waters and grounds of the aeration zone in the territory of the dump of chemical wastes and in its impact zone was carried out; 2) soil pollution mapping. Horizontal electrical profiling was performed using the resistance method using the AMNB symmetric four-electrode installation (electrode spacing – AB = 1,5 m, MN = 0,5 m; AB = 3 m, MN = 1 m; AB = 10 m, MN = 3 m; AB = 30, MN = 10 m) and resistivity of water extracts of soil and surface water sample. The background area is characterized by relatively high values of electrical resistivity – hundreds ohm·m. With depth, the electrical resistance decreases due to an increase in the moisture content of the rocks (up to 70...200 ohm·m). It has been established that the territory of heaps of toxic waste is characterized by low electrical resistivity (less than 10 ohm·m) in the upper part of the geological environment. The decrease in electrical resistance is due to the increase in groundwater salinity (up to 20 g /dm³ or more) and soil salinization (1,5-3 g / dm³), which is confirmed by geochemical studies. In the zone of influence of the waste dump, the specific electrical resistance values do not exceed 100 ohm·m. There is an increase in electrical resistance in the section from top to bottom. The isoline of apparent electrical resistance of 10 ohm·m can serve as the boundary of the zone of distribution of contaminated surface runoff from dumps. Differentiation of electrical resistivity in the studied depth interval reflects the peculiarities of the movement of the pollution front.

Key words: geoelectric method, chemical pollution, geological environment, waste dump, electrical resistivity, impact zone.

© Гусев А.П., Калейчик П.А., Шаврин И.А., 2018

Gusev A.P., Kaleychik P.A., Shavrin I.A. Геоэлектрическая диагностика техногенного загрязнения геологической среды // Вектор ГеоНаук. 2018. Т.1. №4. С. 54-60.

Gusev A.P., Kaleychik P.A., Shavrin I.A., 2018. Geoelectric diagnostics of technogenic pollution of the geological environment. Vector of Geosciences. 1(4): 54-60.