

Эколого-геофизические исследования погребенных эрозионных врезов на промышленно-урбанизированной территории (на примере реки Мильчанки, город Гомель, Беларусь)

© 2025 А. П. Гусев✉

*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246028, Гомель, Беларусь*

Аннотация

Введение: работа посвящена изучению погребенных техногенными грунтами эрозионных врезов малых рек на городской территории комплексом геофизических методов.

Методика: использован комплекс геофизических методов, состоящий из гравиметрии и электроразведки (вертикальное электрическое зондирование и электрическое профилирование методом сопротивлений, резистивиметрия вод и почв, съемка градиента потенциала естественного электрического поля). Применяемая аппаратура: электроразведочный комплекс ERA-MAX, гравиметры ГНУ-KB.

Результаты и их обсуждение: исследована захороненная при городском строительстве долина малой реки Мильчанки. Эрозионный врез реки отражается в виде отрицательной аномалии гравитационного поля с амплитудой 0.5–1.16 мГал и шириной около 200 м. В ходе интерпретации результатов гравиметрических исследований определены параметры зоны разуплотнения, соответствующей захороненному врезу. Электрическое профилирование показало, что разуплотнение массива пород обусловлено отсутствием морены в самой верхней части разреза (увеличение кажущегося сопротивления на разное АВ=60 м) и слоя палеогеновых песчаников на глубине более 25 м (снижение кажущегося сопротивления на разное АВ=200 м). По результатам интерпретации данных электроразведки погребенная долина малой реки представляет собой дренаж для инфильтрующихся с застроенной поверхности осадков, в которой отсутствуют водоупорные слои, что обуславливает высокий риск загрязнения подземных вод.

Заключение: предложенный комплекс гравиметрии и электроразведки позволяет оперативно и достаточно полно картировать погребенный на городской территории эрозионный врез и оценить эколого-геологические риски.

Ключевые слова: погребенный эрозионный врез, гравиметрия, аномалия силы тяжести, электроразведка, кажущееся удельное электрическое сопротивление.

Источник финансирования: исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № X25УЗБ-079).

Для цитирования: Гусев А. П. Эколого-геофизические исследования погребенных эрозионных врезов на промышленно-урбанизированной территории (на примере реки Мильчанки, город Гомель, Беларусь) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2025. № 4. С. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/4/69-76>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

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

Введение

Погребенные при застройке городов малые реки, ручьи, овраги и т.д. (эрозионные врезы) представляют собой зоны повышенного геологического риска, обусловленного разуплотнением и увеличением проницаемости геологической среды. Здесь могут развиваться опасные и неблагоприятные геологические процессы (суффозия, проседания и провалы земной поверхности, заболачивание и подтопление), происходит разгрузка и инфильтрация подземных вод, снижается защищенность подземных вод от поверхностного загрязнения [1–3]. В большинстве случаев на застроенных территориях со значительным уровнем техногенного преобразования геологической среды невозможно проводить бурение скважин, шурфование и т.д. Для исследования объектов такого рода используются геофизические методы, среди которых высокую эффективность показывают гравиметрия и электроразведка [4]. Так, гравиметрия в комплексе с методом естественного электрического поля применены для трассировки и прослеживания зоны разуплотнения и повышенной трещиноватости. Водообильные трещиноватые зоны характеризуются локальными минимумами аномалий силы тяжести и локальными максимумами потенциала естественного поля [5]. Имеется успешный опыт использования гравиметрии для изучения палеоврезов на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области [6]. Эколого-геофизические исследования с помощью комплекса электроразведочных методов позволяют быстро и эффективно оценить и картировать химическое загрязнение компонентов геологической среды [7–9].

Актуальность геофизических исследований техногенно-погребенной эрозионной сети на городской территории обусловлена слабой изученностью реальных и потенциальных эколого-геологических рисков, вызванных активизацией геологических и геохимических процессов, которые могут нанести ущерб городской инфраструктуре. Засыпка эрозионной сети изменяет структуру поверхностного стока, объем которого существенно возрастает, а широкое распространение рыхлых грунтов обуславливает резкое увеличение твердого стока во время ливневых осадков и снеготаяния [2]. После засыпания долины развивается крайне неравномерный процесс уплотнения техногенных грунтов, активизируется суффозия. Техногенные грунты более подвержены тиксотропному разжижению, морозному пучению, просадкам. Утечки из водонесущих коммуникации влияют на грунтовый сток, вызывают подтопление, что в свою очередь приводит к активизации коррозионных процессов [1, 3].

Цель нашей работы – эколого-геофизическое исследование эрозионного вреза малой реки Мильчанки, погребенной под городской застройкой Гомеля. Решаемые задачи: обобщение информации о ландшафтных, геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических условиях района исследований; планирование и проведение геофизических работ методами гравиметрии и электроразведки; эколого-геологическая интерпретация полученных данных.

Объект и методика исследований

Район исследований – город Гомель (Беларусь). Малая река Мильчанка (Мильча) образовала долину шириной 100–300 м и выраженную в современном рельефе перепадом высот 1–3 м и пересекающую западную окраину города Гомеля в субмеридиональном направлении. Река, полностью канализирована (Мильчанская канава), большая ее часть находится под землей. В районе деревни Осовцы канава выходит на поверхность и далее течет по пойме до впадения в реку Уза, а затем в реку Сож (район деревни Бобовичи). Мильчанская канава служит приемником ливневой канализации и сточных вод промышленных предприятий города Гомеля. В настоящее время рельеф долины значительно трансформирован, а сама река помещена в подземный коллектор в районе железной дороги и улицы Барыкина. Долина реки пересекает железную дорогу Гомель-Брест, промышленную и многоэтажную жилую застройку Советского района города Гомеля (рис. 1).

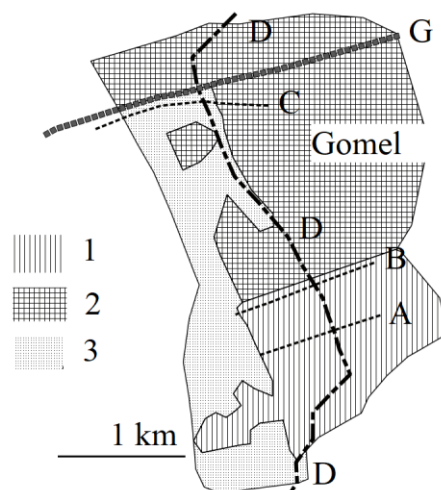


Рис. 1. Район исследований: 1 – жилая многоэтажная застройка; 2 – промышленная застройка; 3 – зеленые зоны; A – профиль вдоль Речицкого проспекта; B – профиль вдоль улицы Лазурная; C – профиль вдоль улицы Барыкина; D – погребенный эрозионный врез малой реки Мильчанка; G – железная дорога.

[Fig. 1. Research area: (1) – residential multi-storey buildings; (2) – industrial buildings; (3) – green areas; (A) – profile along Rechitsky Prospekt; (B) – profile along Lazurnaya Street; (C) – profile along Barykina Street; (D) – buried erosional incision of the small Milchanka River; (G) – railway.]

Особенностью геологического строения территории является присутствие покрова техногенных отложений, которые имеют максимальную мощность (более 5 м) в засыпанной долине Мильчанки. Сама долина сформирована современными пойменными отложениями, местами присутствуют современные болотные и делювиально-пролювиальные отложения. На сопредельных территориях с поверхности залегают отложения первой и второй надпойменных террас (поозерский горизонт верхнего плейстоцена). Отложения надпойменных террас подстилаются моренными отложениями днепровского подгоризонта припятского

горизонта среднего плейстоцена (представлены супесью с включением гравия, реже суглинком) и ниже – нерасчлененными водно-ледниковыми березинско-днепровскими отложениями (песок). С глубины 15-30 м залегают отложения палеогеновой системы, верхняя часть которых чаще всего представлена алевритом и супесью (мощность от 3–5 до 20 м). В нижней части толщи палеогена присутствует слой песчаника (3,5–14 м). Мощность палеогеновых отложений составляет 17–43 м. Палеоген подстилается верхнемеловыми отложениями (мел, мергель). В скважине, пробуренной непосредственно в районе Мильчанской канавы, под техногенными (1 м) и аллювиальными (8 м) песками, вскрыты непосредственно отложения палеогена.

Полевые работы включали гравиметрическую съемку и электроразведку. Гравиметрическая съемка выполнялась по 3 профилям с шагом 100 м, на участках изучаемого объекта – 50 м. Учет остаточного дрейфа нуля производился на основе повторных наблюдений на локальном опорном пункте. Длительность звеньев одного рейса не превышала 1 час. С помощью повторных наблюдений на рядовых пунктах определялась ошибка съемки. Для измерений использован гравиметр ГНУ-КВ. Локальные аномалии силы тяжести определялись по формуле: $\Delta g = g_{\text{набл}} + 0.3086 \cdot H - 0.0419 \cdot \sigma \cdot H - g_0$, $g_{\text{набл}}$ – измеренное значение силы тяжести; H – высота пункта наблюдения, σ – плотность пород промежуточного слоя (г/см^3), g_0 – значение силы тяжести на локальном опорном пункте [10, 11]. Для интерпретации данных гравиметрии использована программа ZondGM2D.

Комплекс электроразведочных работ включал: электрическое профилирование (ЭП) и вертикальное

электрическое зондирование (ВЭЗ) методом сопротивлений, профилирование методом градиента естественного электрического поля (ЕП). ЭП проводилась на разносах АВ=60 м и АВ=200 м. ВЭЗ – с шагом 250 м. При проведении ЕП использовался способ градиента потенциала с MN=50 м, шаг 100 м. Дополнительно проводилась резистивиметрия поверхностных вод и почв. Используемая аппаратура и оборудование: ERA-MAX, набор стальных и медных электродов, неполяризующиеся электроды системы ВИРГ, геофизические катушки, портативный резистивиметр. Интерпретация кривых ВЭЗ и построение геоэлектрического разреза проводилось в программе IPI2Win.

Гравиметрические и электроразведочные профили пересекали застроенные территории в перпендикулярном направлении к погребенной долине Мильчанки (рис. 1).

Результаты и их обсуждение

Гравиметрическая съемка по сравнению с магнито-разведкой и электроразведкой в наименьшей степени зависит от помех, вызываемых техногенными полями, поэтому в данном случае служила основным методом исследований. Гравиметрический профиль 1 проходил вдоль Речицкого проспекта (рис. 1), в ходе чего пересекал моренный холм, зону погребенной долины и надпойменную террасу. Предположительный участок погребенной долины отмечается на графике (рис. 2) отрицательной аномалией гравитационного поля в центральной части профиля. Данная отрицательная аномалия Δg имеет амплитуду 1.16 мГал относительно моренного холма и 0.5 мГал относительно надпойменной террасы. Ширина аномалии около 200 м.

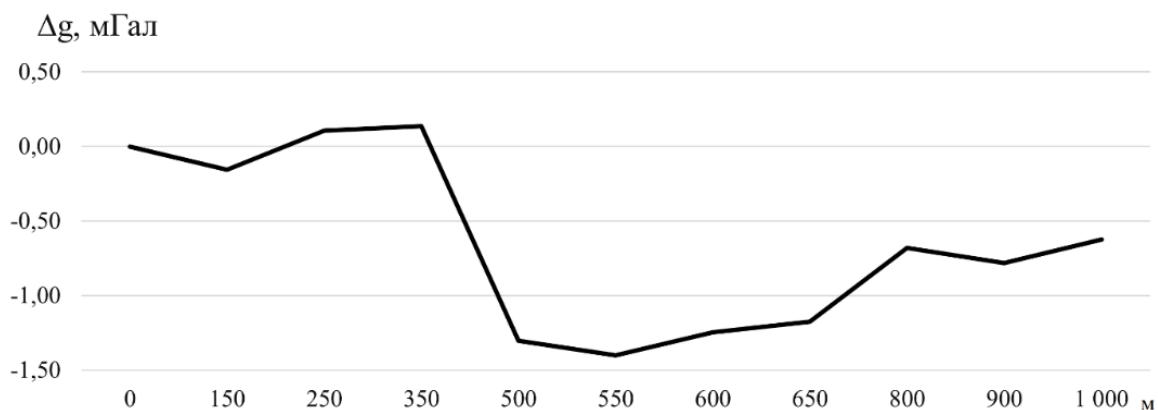


Рис. 2. Гравиметрический профиль вдоль Речицкого проспекта.

[Fig. 2. Gravity profile along Rechitsky Prospect.]

Гравитационный эффект погребенной долины обусловлен различиями в плотности пород, заполняющих эрозионный врез, и окружающих пород. Западная часть профиля 1 находится на моренном холме, восточная часть – на надпойменной террасе. Данные ВЭЗ и ЭП показали, что различия в геологическом строении верхней части разреза между долиной Мильчанки и прилегающими участкам обусловлены отсутствием

морены. На участке моренного холма морена (суглинок, глина) имеет мощность 7.2 м. На участке надпойменной террасы морена представлена супесями и имеет мощность 10–11 м. В районе долины с поверхности залегают техногенные отложения, представленные песком (мощность 2 м). Далее идет мощный слой мощностью 20 м водонасыщенных песков и супесей (вероятно, современные техногенные, пойменные и

палеогеновые отложения). Плотность суглинка в естественном залегании составляет 1.8–1.9, тогда как песка и супеси – 1.6–1.7 г/см³.

Гравиметрический профиль 2 проходит вдоль улицы Лазурной, расположенном 600 м на север от Речицкого проспекта (рис. 1). На участке погребенной долины Мильчанки также наблюдается отрицательная аномалия силы тяжести, составляющая в поперечнике около 250 м. Амплитуда аномалии составляет 1.37 мГал относительно восточной части профиля (моренный холм) и 0.23 мГал относительно западной (надпойменная терраса). Графики изменения Δg на гравиметрических профилях 1 и 2 схожи, что подтверждает предположение о природе аномалий силы тяжести на участке долины Мильчи. На гравиметрическом профиле 3 (находится на расстоянии 2.8 км от профиля 1) наблюдается отрицательный пространственный тренд Δg в восточном направлении (в сторону центра города), связанный, вероятно, с изменением глубины залегания кристаллического фундамента на этом участке. На этом фоне в центральной части профиля имеется отрицательная аномалия Δg , которая предположительно обусловлена погребенной долиной Мильчанки. В поперечнике эта аномалия составила около 100 м. Амплитуда с западной стороны профиля составила 0.56 мГал, с восточной – 0.41 мГал. Слабо выраженный по сравнению с другими профилями характер аномалии, вероятно, обусловлен меньшими различиями в литологии пород, заполняющих эрозионный врез, и пород на сопредельных участках.

Интерпретация результатов гравиметрии была выполнена с помощью программы ZondGM2D. Парамет-

ры стартовой сеточной (блоковой) модели: толщина первого слоя – 10 м; число слоев – 5. Инверсии выполнялась по алгоритму Оссам (инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной минимизацией контрастности). Дополнительно использован пересчет измеренного поля и его вертикальной производной в нижнее полупространство. На основе выполненной инверсии были установлены параметры зоны разуплотнения, соответствующей эрозионному врезу Мильчанки: ширина зоны разуплотнения составляет 50–150 м, а ее глубина от 35 до 50 м. Дефицит плотности ($\Delta \sigma_m$) относительно соседних участков соответствующего профиля составляет от -0.30 до -0.05 г/см³. Пересчет поля и его вертикальной производной вниз также показывает приповерхностный характер (до 20–30 м) аномалиеформирующего объекта. Полученные результаты вполне согласуются вышеизложенными соображениями относительно геологического строения изучаемого объекта.

Электрическое профилирование по профилю вдоль Речицкого проспекта на разnose АВ=60 м (эффективная глубина исследования 6–15 м) демонстрирует изменения кажущегося сопротивления, обусловленные особенностями морены (рис. 3). Суглинистая морена обуславливает низкие значения кажущегося удельного электрического сопротивления 5.5–10.1 Ом·м (западная часть профиля). На участке эрозионного вреза Мильчанки кажущееся сопротивление увеличивается в 2 раза, что обусловлено, вероятно, отсутствием здесь морены. В пределах надпойменной террасы, судя по геоэлектрическому разрезу морена сильно опесчанена.

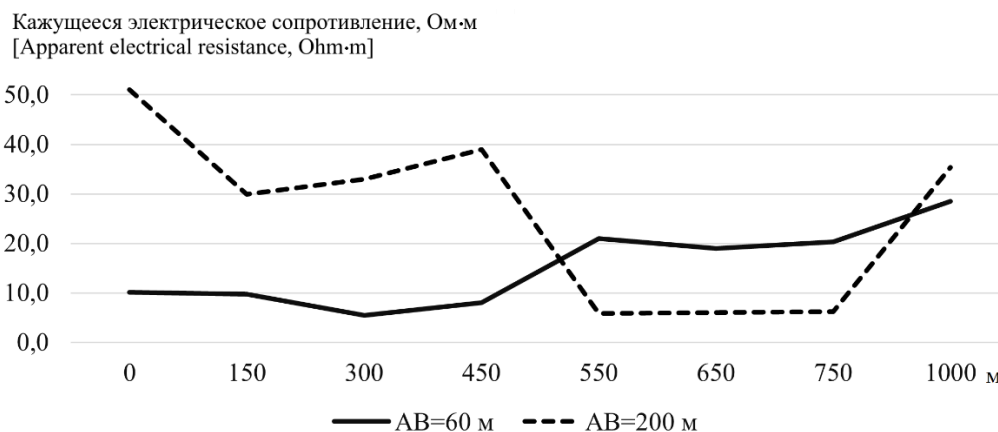


Рис. 3. Электрическое профилирование методом сопротивлений вдоль Речицкого проспекта.
[Fig. 3. Electrical profiling using the resistance method along Rechitsky Prospect.]

Разуплотнение на участке погребенной долины Мильчанки относительно надпойменной террасы (восточная часть профиля), сложно объяснить литологическими различиями только верхней части разреза (везде – супеси и пески). Вероятно, на участке эрозионного вреза размыта не только морена, но и палеогеновые отложения, а именно их часть, представленная песчаниками. По данным электрического профилирования на разnose АВ=200 м (эффективная

глубина исследования 20–50 м) видно, что на участке долины Мильчанки кажущееся сопротивление существенно снижается (в 4–5 раз). При чем, на крайних точках ВЭЗ (ВЭЗ-1 и ВЭЗ-4) слой с высоким сопротивлением является опорным горизонтом. Предположительно, что график профилирования на разносах АВ=200 м отражает пространственное распространение слоя палеогеновых песчаников. Песчаники имеют плотность 2.2–2.6 г/см³, что выше,

чем плотность суглинков и глин (1.8–1.9 г/см³). На участке эрозионного вреза слой песчаников отсутствует, что может являться причиной формирования отрицательной аномалии Δg . Таким образом, разуплотнение массива обусловлено отсутствием морены в самой верхней части разреза и слоя палеогеновых песчаников на глубине более 25 м.

Оценить важные эколого-гидрогеологические параметры можно по результатам интерпретации кривых ВЭЗ: суммарное поперечное сопротивление

($T = \rho \cdot h$) – величина прямо пропорциональная коэффициенту фильтрации и мощности водоносного слоя, характеризует водопроницаемость массива пород в условиях песчано-глинистого разреза; суммарная продольная проводимость ($S = h/\rho$) – величина обратно пропорциональная поперечной водопроницаемости, характеризует проницаемость водоупорных горизонтов [4]. Изменения величины указанных показателей вдоль Речицкого проспекта, рассчитанных по данным ВЭЗ показана на рис. 4.

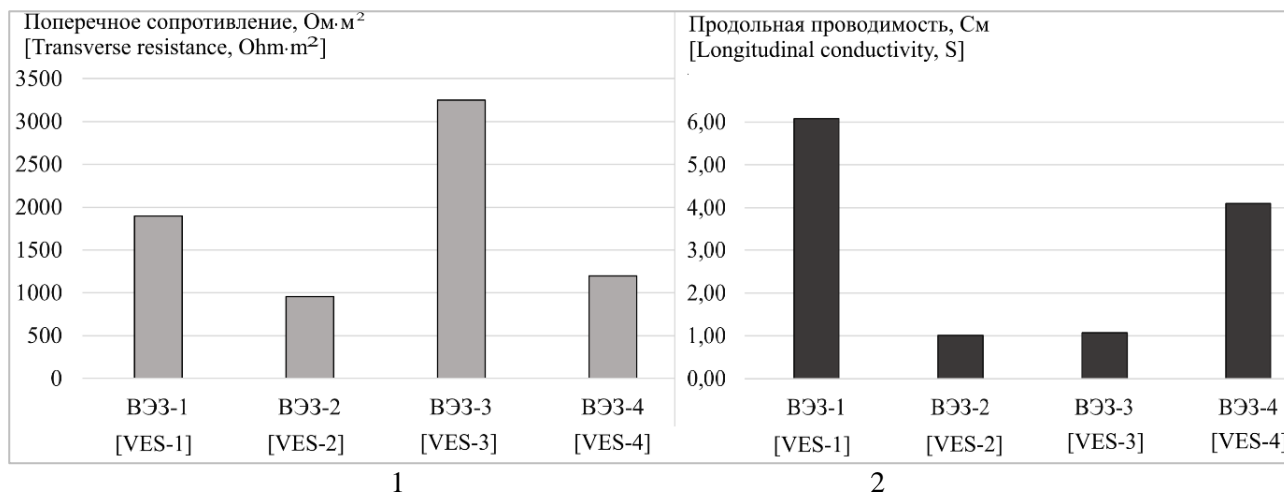


Рис. 4. Суммарное поперечное сопротивления (1) и суммарная продольная проводимость (2).

[Fig. 4. Total transverse resistance (1) and total longitudinal conductivity (2).]

Участок погребенной долины Мильчанки находится в районе точки ВЭЗ-2. Видно, что для этого участка характерно наименьшая величина суммарного поперечного сопротивления ($T=956.6$), что указывает на пониженную водопроницаемость пород (относительно низкие коэффициенты фильтрации и мощности водоносных горизонтов). С другой стороны, суммарная продольная проводимость здесь также низкая ($S=1.013$), т.е. водоупорные слои хорошо проницаемы. Таким образом, на этом участке верхняя часть разреза (мощностью 21 м) слабо защищена от поступления загрязнений с земной поверхности по сравнению с остальной частью профиля. Наличие здесь потенциальных источников загрязнения поверхностного стока (3 автозаправочные станции, многочисленные автосервисы, автомойки, гаражные кооперативы и т.д.) увеличивает риск загрязнения. Кроме того, сама Мильчанская канава (приемник промышленных сточных вод и ливневой канализации) при утечках из ее коллектора может являться источником загрязнения подземных вод. Так, по данным резистивиметрии минерализация вод в коллекторе канавы составляет более 600 мг/дм³, тогда как фоновая минерализация грунтовых вод на этом участке – 150–300 мг/дм³.

Результат профилирования вдоль Речицкого проспекта методом градиента ЕП показан на рис. 5. Видно, что в центральной части профиля (пикеты 5–8), находящейся на участке захороненного вреза, наблюдается отрицательная аномалия ЕП, имеющая

амплитуду около 20 мВ). На остальной части профиля величина градиента потенциала ЕП составляет от +2.5 до +8.4 мВ. Отрицательный знак аномалии указывает на нисходящий характер движения подземных вод, т.е. эта область служит дренажной для инфильтрующихся осадков.

Особенности состава техногенных грунтов и подстилающих их пород в комплексе с интенсивной инфильтрацией осадков, увеличением объема поверхностного стока с сопредельных территорий за счет преобладания застроенной поверхности обуславливают рост риска развития суффозионных процессов. По результатам маршрутной съемки на профиле вдоль Речицкого проспекта на участке погребенного вреза были выявлены провалы и проседания асфальта на пешеходных дорожках, провалы грунта на газонах, вызванные суффозией.

Закключение

Таким образом, установлено следующее:

погребенные на застроенной территории городов эрозионные врезы малых рек выявляются и картируются с помощью гравиметрической съемки (шаг между пунктами наблюдения 50–100 м, длительность рейсов – до 1 часа) в виде отрицательных аномалий силы тяжести;

электроразведка методами ЕП, ЭП и ВЭЗ дополняет гравиметрическую съемку и позволяет уточнить природу аномалий силы тяжести;

засыпанный при городском строительстве эрозионный врез долины малой реки Мильчанки фиксируется как отрицательная аномалии Δg с относительной амплитудой 0.23–1.37 мГал и шириной 200–250 м, обусловленной различиями в составе четвертичных и, вероятно, палеогеновых отложений по отношению к прилегающим территориям (на участке эрозионного вреза отсутствует днепровская морена и слой палеогеновых песчаников);

по результатам интерпретации данных электроразведки погребенная долина малой реки представляет собой дрена для инфильтрующихся с застроенной поверхности осадков, в которой отсутствуют водоупорные слои, что обуславливает высокий риск загрязнения подземных вод;

активная инфильтрация обуславливает повышенный риск развития суффозионных явлений в приповерхностном слое техногенных грунтов.

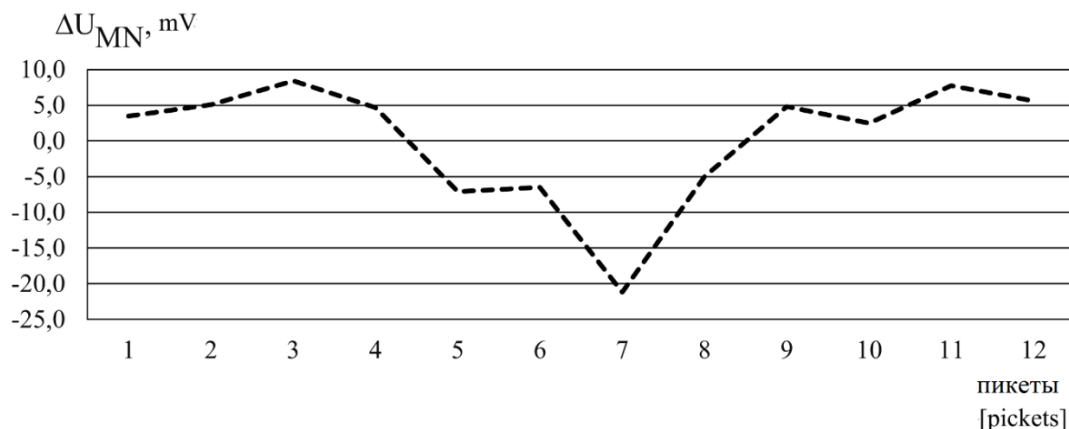


Рис. 5. Изменения градиента потенциала естественного электрического поля вдоль Речицкого проспекта.
[Fig. 5. Changes in the gradient of the natural electric field potential along Rechitsky Prospect].]

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неходцев В. А. Последствия техногенного погребения рек в городах (на примере Москвы) // *Известия РАН. Серия географическая*. 2021. Т. 85. № 2. С. 238–247
2. Кутепов В. М., Анисимова Н. Г., Козлякова И. В., Кожевникова И. А. Влияние эрозионных врезов на особенности строения геологической среды и развитие опасных геологических процессов в столичном мегаполисе // *Уникальные и специальные технологии в строительстве*. 2006. №1(4). С. 32–37
3. Котлов Ф. В. Изменения геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 264 с.
4. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.
5. Бычков С. Г., Катаев В. Н., Митюнина И. Ю., Степанов Ю. И. Разработка комплекса геолого-геофизических методов для выделения водообильных участков // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2017. Т. 17. № 4. С. 379–385

6. Буданов Л. М., Сенчина Н. П., Шнюкова О. М., Горелик Г. Д. Исследование палеовреза с помощью гравиметрических наблюдений // *Геосистемы переходных зон*. 2020. Т. 4. № 3. С. 288–296
7. Гусев А. П. Комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов при диагностике химического загрязнения геологической среды // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 3. С. 133–140
8. Гусев А. П. Комплексирование геоэлектрических методов и дистанционного зондирования Земли при оценке состояния окружающей среды в зоне влияния экологически опасных объектов // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024. Vol. 335. No. 10. P. 134–145
9. Гусев А. П. Геоэлектрические методы при изучении техногенного загрязнения геологической среды городов // *Литасфера*. 2024. № 2. С. 55–62
10. Гравиразведка. Справочник геофизика. М.: Недра, 1990. 607 с.
11. Горожанцев А. В., Огородова И. В., Пугин А. В. Профильная геофизическая практика (гравиразведка). Пермь: ПГУ, 2022. 95 с.

Ecological and geophysical studies of buried erosional incisions in an industrial and urbanized area (using the example of the Milchanka River, Gomel, Belarus)

© 2025 A. P. Gusev✉

Francisk Skorina Gomel State University, st. Sovetskaya, 104, 246019, Gomel, Belarus

Abstract

Introduction: the work is devoted to the study of erosional incisions of small rivers in urban areas buried by technogenic soils using a complex of geophysical methods.

Methodology: a complex of geophysical methods was used, consisting of gravimetry and electrical exploration (vertical electrical sounding and electrical profiling using the resistance method, water and soil resistivity metering, surveying the gradient of the natural electric field potential). The equipment used: ERA-MAX electrical exploration complex, GNU-KV gravimeters.

Results and discussion: the valley of the small Milchanka River buried during urban construction was studied. The erosional incision of the river is reflected in the form of a negative anomaly of the gravitational field with an amplitude of 0.5–1.16 mGal and a width of about 200 m. During the interpretation of the results of gravimetric studies, the parameters of the decompaction zone corresponding to the buried incision were determined. Electrical profiling showed that the loosening of the rock mass is due to the absence of a moraine in the uppermost part of the section (an increase in apparent resistivity at a spacing of AB=60 m) and a layer of Paleogene sandstones at a depth of more than 25 m (a decrease in apparent resistivity at a spacing of AB=200 m). According to the interpretation of electrical exploration data, the buried valley of a small river is a drain for sediments infiltrating from the built-up surface, in which there are no impermeable layers, which causes a high risk of groundwater pollution. **Conclusion:** the proposed complex of gravimetry and electrical exploration allows for prompt and sufficiently complete mapping of an erosional incision buried in an urban area and an assessment of environmental and geological risks.

Keywords: buried erosional incision, gravimetry, gravity anomaly, electrical prospecting, apparent resistivity.

Funding: research was carried out with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Basic Research (project No. X25UZB-079).

For citation: Gusev A. P. Ecological and geophysical studies of buried erosional incisions in an industrial and urbanized area (using the example of the Milchanka River, Gomel, Belarus) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2025, no. 4, pp. 69–76. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2025/4/69-76>

Conflict of interests: The author 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, e-mail: andi_gusev@mail.ru

REFERENCES

1. Nekhodtsev V. A. Posledstviya tekhnogenogo pogrebeniya rek v gorodakh (na primere Moskvy) [Consequences of man-made burial of rivers in cities (using Moscow as an example)]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya – News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 2021, vol. 85, no. 2, pp. 238–247 (In Russ.)
2. Kutepov V. M., Anisimova N. G., Kozlyakova I. V., Kozhevnikova I. A. Vliyaniye erozionnykh vrezov na osobennosti stroyeniya geologicheskoy sredy i razvitiye opasnykh geologicheskikh protsessov v stolichnom megapolise [The influence of erosional incisions on the structural features of the geological environment and the development of dangerous geological processes in the capital metropolis]. *Unikal'nyye i spetsial'nyye tekhnologii v stroitel'stve – Unique and special technologies in construction*, 2006, no. 1(4), pp. 32–37 (In Russ.)
3. Kotlov F. V. *Izmeneniya geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Changes in the geological environment under the influence of human activity]. Moscow, Nedra publ., 1978, p. 264 (In Russ.)
4. Ogilvi A. A. *Osnovy inzhenernoy geofiziki* [Fundamentals of engineering geophysics]. Moscow, Nedra publ., 1990, p. 501 (In Russ.)
5. Bychkov S. G., Kataev V. N., Mityunina I. Yu., Stepanov Yu. I. Razrabotka kompleksa geologo-geofizicheskikh metodov dlya vydeleniya vodoobil'nykh uchastkov [Development of a set of geological and geophysical methods for identifying water-rich areas]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya – Proceedings of Perm University. Geology*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 379–385 (In Russ.)
6. Budanov L. M., Senchina N. P., Shnyukova O. M., Gorelik G. D. Issledovaniye paleovreza s pomoshch'yu gravimetricheskikh nablyudeniy [Study of paleoincision using gravimetric observations]. *Geosistemy perekhodnykh zon – Geosystems of transition zones*, 2020, vol.4, no. 3, pp. 288–296 (In Russ.)
7. Gusev A. P. Kompleksirovaniye kosmicheskoy s"yemki i geoelektricheskikh metodov pri diagnostike khimicheskogo zagryazneniya geologicheskoy sredy [Integration of space survey and geoelectric methods in diagnostics of chemical pollution of the geological environment]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 3, pp. 133–140 (In Russ.)
8. Gusev A. P. Kompleksirovaniye geoelektricheskikh metodov i distantsionnogo zondirovaniya Zemli pri otsenke sostoyaniya okruzhayushchey sredy v zone vliyaniya ekologicheskii opasnykh ob"yektov [Integration of geoelectric methods and remote sensing of the Earth in assessing the state of the environment in the zone of influence of ecologically hazardous objects]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 10, pp. 134–145 (In Russ.)
9. Gusev A. P. Geoelektricheskiye metody pri izuchenii tekhnogenogo zagryazneniya geologicheskoy sredy gorodov [Geoelectric methods in the study of technogenic pollution of the geological environment of cities]. *Litasfera – Lithosphere*, 2024, no. 2, pp. 55–62 (In Russ.)
10. *Gravirazvedka. Spravochnik geofizika razvedka* [Gravity Prospecting. Geophysics Handbook]. Moscow, Nedra publ., 1990. p. 607 (In Russ.)
11. Gorozhantsev A. V., Ogorodova I. V., Pugin A. V. *Profil'naya geofizicheskaya praktika (gravirazvedka)* [Profile geophysical practice (gravity exploration)]. Perm, PGU publ., 2022, p. 95 (In Russ.)

Андрей Петрович Гусев, к.г.-м.н., зав. кафедрой ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь;
e-mail: andi_gusev@mail.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-1172>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Andrey P. Gusev, PhD in Geol.-Min., Head of the Department, Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus; e-mail: andi_gusev@mail.ru;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-1172>

Author have read and approved the final manuscript.