

УДК 504.5+550.83

<https://doi.org/10.65207/1680-2373-2025-2-116-125>

АНОМАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ КАК ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

А. П. Гусев

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246028, Гомель, Беларусь
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Цель работы – изучение аномальных пространственно-временных вариаций локальных геофизических полей в геодинамически активных зонах. Решаемые задачи: анализ опыта исследований аномальной динамики геофизических полей; разработка методики изучения аномальных вариаций локальных геофизических полей; выявление пространственно-временных аномалий геофизических полей, обусловленных экзо-геодинамическими процессами; выявление пространственно-временных аномалий геофизических полей, обусловленных современной геодинамической активностью в зонах разломов. Используемые методы: электрическое профилирование и вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений, метод естественного электрического поля, гравиметрия. Зона развития оползня характеризуется аномальной динамикой естественного электрического поля (амплитуда колебания 10–30 мВ) и кажущегося электрического сопротивления (амплитуда колебания до 90 Ом·м), выявляемой в течение нескольких суток. Зона активной суффозии в техногенных грунтах диагностируется аномальной динамикой естественного электрического поля (амплитуда колебания 5–15 мВ), проявляющейся во временном интервале от нескольких недель до первых месяцев. Активные разломы проявляются в аномальных вариациях гравитационного поля (амплитуда колебаний 0,1–0,3 мГал).

Ключевые слова: геофизические поля, аномальная динамика, экзогенная геодинамика, оползень, суффозия, естественное электрическое поле, гравиметрия, зоны разломов.

ВВЕДЕНИЕ

Аномальная динамика локальных геофизических полей – изменения геофизических полей во времени, приуроченные к ограниченным в пространстве геологическим объектам, обладающим высокой чувствительностью к внешним воздействиям различной природы (энергоактивным [2; 3] или чувствительным зонам [12; 13], геодинамически активным зонам [18]).

Известно, что геофизические поля непостоянны по времени, испытывают изменения разной периодичности и амплитуды. Например, гравитационное поле, геоэлектрические параметры, напряженно-деформированное состояние пород, потоки глубинных газов, уровни подземных вод изменяются под влиянием Луны и Солнца. Геомагнитное поле – под влиянием изменений солнечной активности. Изменения атмосферного давления влияют на уровни подземных вод и связанные с ними геофизические поля. Мощное воздействие на геофизические поля оказывают современные тектонические движения. Постоянно растет влияние техногенных факторов. Однако вариабельность геофизических полей в пространстве крайне неоднородна по амплитуде.

Так, было замечено, что на определенных локальных участках амплитуда колебаний существенно выше среднестатистических или фоновых величин.

Такие участки С. Ю. Баласанян определил как энергоактивные зоны, характеризующиеся аномальной полидисперсностью, многофазностью, гетерогенностью и расположенные в наиболее ослабленных зонах литосферы. С. Ю. Баласанян предложил геоэлектрическую модель геологической среды этих зон, объясняющую суточную динамику геоэлектрических и геомагнитных показателей [2]. Аномальная суточная динамика геоэлектрического и геомагнитного полей наблюдается над рудными образованиями, над тектоническими нарушениями, на участках формирования оползней и обвалов, над линзами льда [2; 10; 11].

Понятие чувствительной зоны введено для участков земной коры, где аномальные высокоамплитудные колебания геофизических полей являются реакцией на сейсмические события. В чувствительных зонах, например, наблюдаются высокоамплитудные и отдаленные предвестники землетрясений и постсейсмические эффекты [12]. Такие зоны приурочены к подвижным контактам между блоками земной коры, они отличаются

неустойчивостью и нелинейными характеристиками, высокой тензочувствительностью. Реакция на слабые возмущения здесь проявляются в виде интенсивных и высокоградиентных изменений показателей геофизических полей [12; 13].

Понятие чувствительных или энергоактивных зон в определенной мере близко к понятию геодинамически активных зон. Однако последние, как правило, относятся к эндогенным проявлениям – тектоническим движениям, изменениям напряженно-деформированного состояния, газифлюидопереносу, приуроченным к разломам земной коры. Для геодинамически активных зон, как в зонах столкновения литосферных плит и высокой сейсмической активности, так для платформенных структур, характерна аномальная пространственно-временная динамика геофизических полей [3; 14].

Над активными разломами в разных регионах (Припятский прогиб, Терско-Каспийский прогиб, Предгорный Дагестан, Притбилисский район, Пермское Приуралье и др.) фиксируются аномальные вариации геомагнитного, гравитационного и газогеохимических полей, локализованные в узкой полосе (ширина 1–3 км) периодичностью от первых месяцев до нескольких лет, сопряженные с высокоградиентными вертикальными движениями земной поверхности [1; 14; 15; 18]. Отмечается, что эффект влияния колебаний атмосферного давления на геофизические поля (эманации радона, микросейсмический фон) значительно сильнее проявляется в разломных зонах [20]. Аномальная динамика геофизических полей (гравитационного, теплового, геомагнитного, геоэлектрического) обнаружена в разных нефтегазоносных областях над залежами углеводородов [6; 17]. Аномальные вариации гравитационного поля наблюдались над техногенными объектами: зоны разуплотнения на калийных месторождениях, затопленные шахтные поля, подземные хранилища газа [4; 5; 16].

Таким образом, аномальная динамика локальных геофизических полей связана с энергоактивными (чувствительными) зонами, характеризующимися нелинейным откликом на внешние воздействия. Такие зоны представлены: 1) тектоническими нарушениями разного ранга; 2) местами проявления экзогенных геологических процессов (оползни, карст, суффозия); 3) рудными телами; 4) некоторыми техногенными отходами; 5) залежами углеводородов. В предлагаемой работе будут рассматриваться только аномальные эффекты, связанные с опасными экзогенными процессами и современной геодинамической активностью в зонах разломов.

Цель работы – изучение аномальных пространственно-временных вариаций локальных геофизических полей в геодинамически активных зонах. Решаемые задачи: анализ опыта исследований аномальной динамики геофизических полей; разработка методики изучения аномальных вариаций локальных геофизических полей; выявление пространственно-временных аномалий геофизических полей, обусловленных экзогеодинамическими процессами; выявление пространственно-временных аномалий геофизических полей, обусловленных современной геодинамической активностью в зонах разломов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Тестовые объекты для изучения аномальных геофизических эффектов, связанных опасными экзогенными процессами.

1. Активный оползень-обвал на берегу реки Днепр (д. Переделки, Лоевский район Гомельской области). Площадь тела оползня свыше 500 м². Геологические условия – четвертичные и неогеновые отложения (пески, супеси, суглинки). Высота над урезом воды – до 20 м.

2. Суффозионный процесс на участке вблизи здания по улице Советская, 108 (г. Гомель). Суффозионный вынос грунта вызвал неравномерную осадку фундамента здания (4 этажа, постройка 1960-х гг.) и образование трещин в стенах.

Изучение аномальной динамики локальных геофизических полей, вызванной современной геодинамической активностью в зонах разломов, выполнялось на участке «Костюковка» (7 км севернее г. Гомеля). Участок находится в зоне сочленения Гомельской структурной перемычки с Клиновским грабеном Воронежской антеклизы (с востока) и Северо-Припятским плечом (с севера) на пересечении субрегионального Гомельского разлома, локального Костюковского разлома и регионального Жлобинского разлома [21]. Глубина залегания кристаллического фундамента на прилегающих участках в Клиновском грабене составляет 0,6–0,7 км, в Гомельской структурной перемычке – 0,8–0,9 км, на Северо-Припятском плече – 0,8–0,9 км. Амплитуда сброса на Гомельском разлому – около 200 м. Западнее деревни Зеленые Луки проходит субрегиональный Западно-Ченковский разлом, делящий Гомельскую структурную перемычку на блоки. Локальный Костюковский разлом прослеживается от деревни Острова (на западе) до деревни Новоселки (на востоке). Его протяженность около 20 км. Почти на всем

протяжении совпадает с тополинеamentом, выделяемым по цифровой модели рельефа STRM, и цепочкой заболоченных участков. Современная геодинамическая активность участка «Костюковка» проявляется в газогеохимических (гелий, водород, метан) аномалиях, рассмотренных в работах [7; 8; 9]. Для сравнения был выбран участок «ГГУ» (центральный район г. Гомеля), находящийся вне зон разломов и с фоновыми газогеохимическими полями (рис. 1).

Методический подход к изучению аномальной динамики геофизических полей предполагает сравнение их параметров, измеренных в одних и тех же точках в разное время (отдельные пункты наблюдения и профиля). Точки, в которых производятся повторные измерения, должны иметь точное позиционирование, расположены вне влияния возможных техногенных помех. Повторные или непрерывные измерения проводятся в специально оборудованных пунктах.

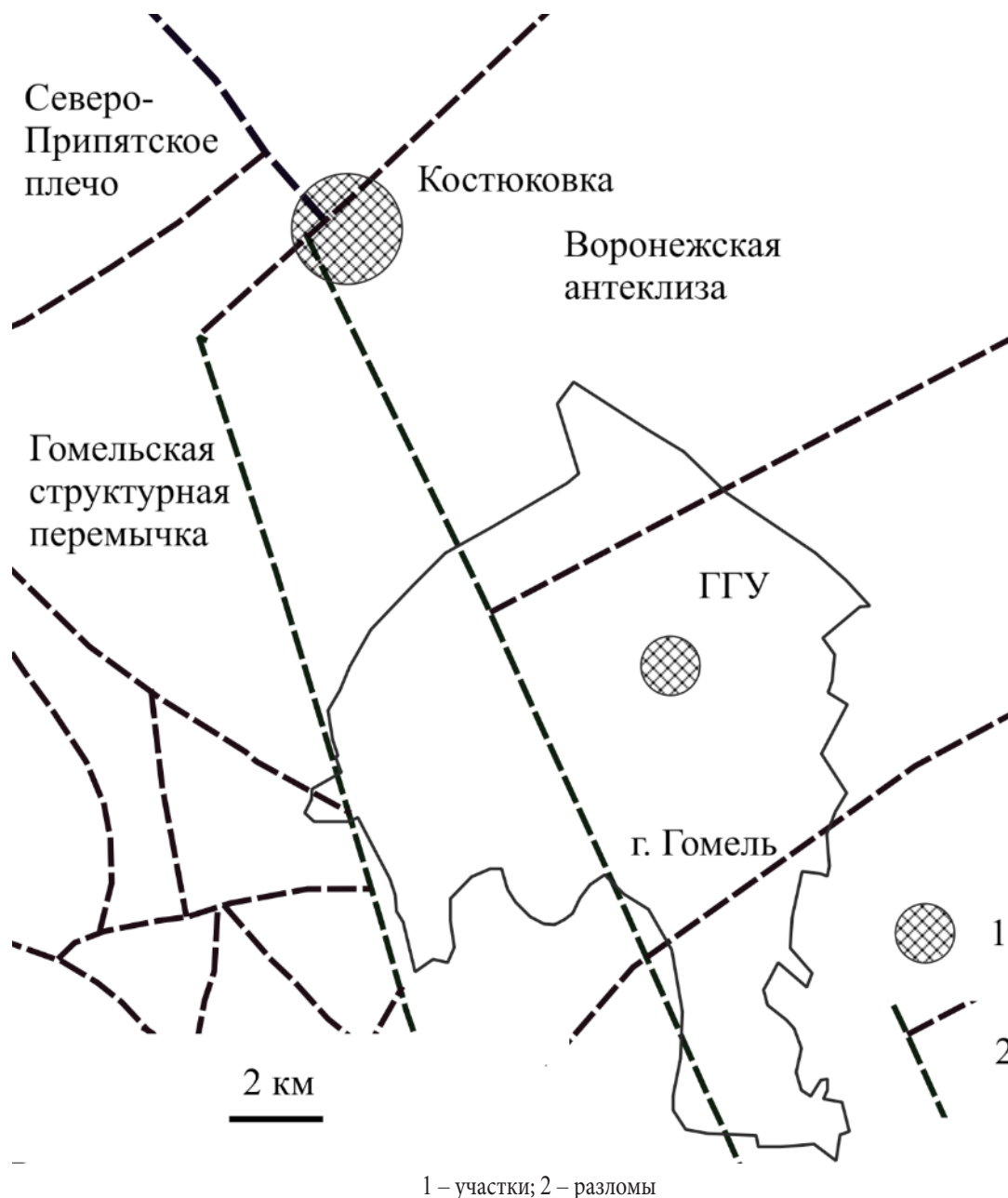


Рисунок 1 – Район исследований аномальной динамики локальных геофизических полей, обусловленной современной геодинамической активностью в зонах разломов

Для изучения динамики геофизических полей на оползне-обвале были использованы метод естественного электрического поля (ЕП) и электрическое профилирование (ЭП) методом сопротивлений. ЭП проводилось установкой Веннера ($MN = 10$, $AB = 30$; шаг 50 м) по 3 профилям с целью локализации оползневого тела. Повторные измерения проводились в 2 пунктах наблюдений: пункт А – 200 м от обрыва; пункт Б – на участке оползневого тела (трещинная зона). В каждом пункте оборудованы: азимутальная установка неполяризуемых электродов системы ВИРГ с приемной линией $MN = 5$ м для измерения градиента потенциала естественного электрического поля (в 2 позициях – перпендикулярно и параллельно берегу реки); стационарная установка Веннера для измерения кажущегося электрического сопротивления $AB = 30$ и $MN = 10$ м. Наблюдения проводились 27–29 июня (в 8.00, 14.00 и 20.00). Выполнено 9 замеров.

Для изучения суффозионного процесса использованы метод естественного электрического поля и вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений (ВЭЗ). Съемка методом потенциала ЕП проводилась по 3 профилям (по 19 пикетов в каждом): шаг измерений по профилю 5 м, расстояние между профилями 10 м. 1-й и 2-й профили располагались в пределах лесопосадки, 3-й профиль – на клумбе перед корпусом. Используются неполяризуемые электроды системы ВИРГ. ВЭЗ выполнялись по стандартной методике по 2 крестообразно расположенным профилям. Расстояние между точками ВЭЗ 15 м. Изучение динамики ЕП проводилось с помощью повторных измерений потенциала на 3-м профиле. Замеры по профилю выполнялись с интервалом в 2 месяца в летний период. Для построения карты потенциала ЕП в изолиниях использована программа Surfer, для интерпретации кривых ВЭЗ – программа IPI2Win.

Для изучения аномальных вариаций геофизических полей, обусловленных процессами в зонах разломов, были проложены гравиметрические профили через участки «Костюковка» и «ГГУ». Гравиметрический профиль на участке «Костюковка» проходил по линии поселок Костюковка – поселок Вишенский – деревня Зеленые Луки (длина профиля 4,1 км); на участке «ГГУ» – по линии улица Песина – улица Тимофеевко (длина профиля 1,5 км). Шаг измерений – 100 м. Учет остаточного дрейфа нуля

производился на основе повторных наблюдений на локальных опорных пунктах. Длительность звеньев одного рейса не превышала 1 час. Для измерений использован гравиметр ГНУ-КВ. Погрешность измерений составляет $\pm 0,03$ мГал. Локальные аномалии силы тяжести определялись по формуле: $\Delta g = g_{\text{набл}} + 0,3086 \times H - 0,0419 \times \sigma \times H - g_0$, $g_{\text{набл}}$ – 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.

Для интерпретации данных гравиметрии использована программа ZondGM2D.

Повторная гравиметрическая съемка выполнялась на отдельных пунктах вышеуказанных профилей: 10 пунктов на профиле участка «Костюковка» и 8 пунктов на профиле участка «ГГУ». Интервал повторных измерений – 2 месяца.

Для построения картосхем использована геоинформационная система QGIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Места проявления экзогенной геодинамики (энергоактивные зоны электрокинетической природы) представляют собой первый от земной поверхности капиллярный слой пород (до 5 м). Нестабильность геоэлектрического поля здесь обусловлена вариациями столба жидкости в капиллярах горных пород под действием различных факторов [2]. По С. Ю. Баласаняну, суточная динамика геоэлектрических полей над активными оползнями обусловлена электротермокапиллярным (изменение температуры) и электробарокапиллярным (колебания капиллярных и трещинных вод под воздействием лунно-солнечных приливов) эффектами. Активизация оползневых процессов сопровождается интенсивным трещинообразованием, способствующим повышению интенсивности электробарокапиллярных потенциалов [2].

На тестовом участке, расположенном в районе деревни Переделки, на основе электрического профилирования методом сопротивлений выделено оползневое тело. Участок оползня локализуется аномалией пониженного электрического сопротивления до 60–80 Ом·м (при фоне 100–150 Ом·м). В ходе наблюдений в течение трех суток было установлено, что в пункте А (200 м от обрыва, вне оползня) амплитуда колебаний $\Delta U_{\text{ЕП}}$ за весь период наблюдений не превышала 8,0 мВ. Отличий в колебаниях $\Delta U_{\text{ЕП}}$ в зависимости от ориентации линии MN не зафиксировано (рис. 2).

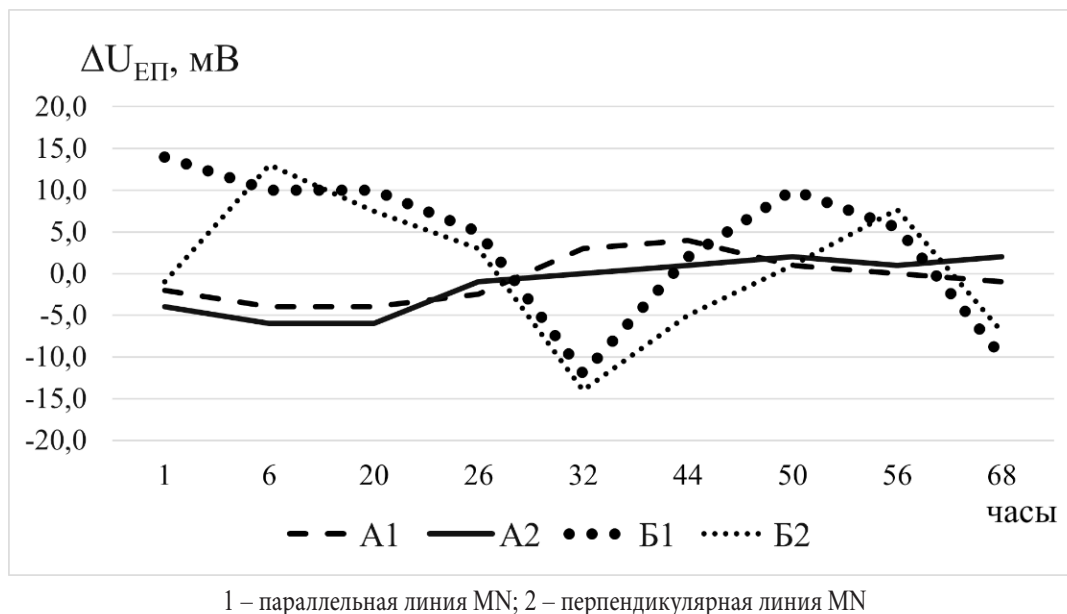


Рисунок 2 – Динамика градиента потенциала ЕП: А – фон; Б – активный оползень

В оползнеактивной зоне (пункт Б) наблюдались более значительные колебания, амплитуда которых составила 26–27 мВ. Отмеченный эффект существенно превышает погрешность изменений (1–2 мВ). Отрицательный знак ΔU_{EP} указывает на нисходящее движение инфильтрующейся воды в массиве грунтов.

Амплитуда колебаний кажущегося сопротивления (КЭС) в пункте А составила до 10 Ом·м. В пункте Б

в течение 2 дней наблюдался рост кажущегося сопротивления с 50–60 Ом·м до 140 Ом·м, затем резкое снижение до 95 Ом·м и новый быстрый рост до 115 Ом·м. Амплитуда изменений составила 90 Ом·м, то есть амплитуды колебаний сопротивления между пунктами наблюдений различаются в 9 раз (рис. 3). Исходя из величины питающей линии АВ, наблюдаемые эффекты обусловлены процессами, происходящими в интервале глубин 3–7,5 м.

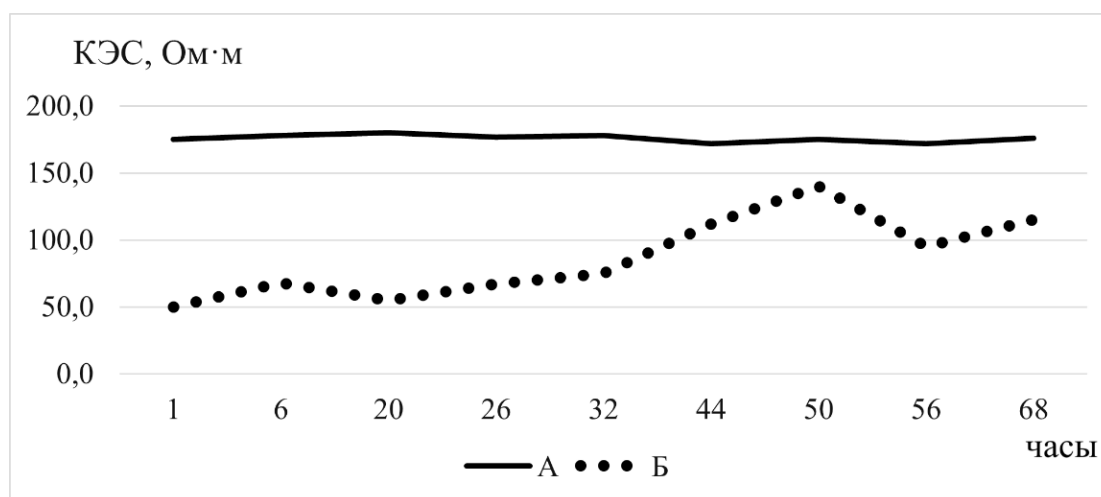


Рисунок 3 – Динамика кажущегося сопротивления зоны аэрации: А – фон; Б – активный оползень

Аномальная динамика ΔU_{EP} , вероятно, обусловлена электробарокапиллярным эффектом, то есть колебаниями капиллярных и трещинных вод в оползневом массиве под воздействием лунно-солнечных гравитационных сил. Активизация оползневых процессов сопровождается интенсивным

трещинообразованием, которое индицируется повышением интенсивности электробарокапиллярного потенциала и, соответственно, ростом амплитуды колебаний ΔU_{EP} . Трещинообразование также влияет на инфильтрацию воды в грунтовом массиве, что, в свою очередь, может отражаться в колебаниях

значений электрокинетического потенциала. Колебания водонасыщенности обуславливают изменения кажущегося сопротивления массива грунтов. Снижение кажущегося сопротивления указывает на подъем капиллярных и поровых вод (грунтовые воды в данном случае находятся на глубине более 10 м) при деформации сжатия и наоборот. Таким образом, нестабильность напряженно-деформированного состояния оползня отражается в нестабильности геоэлектрических параметров.

В стенах корпуса № 1 были обнаружены трещины, возникновение которых вызвано неравномерной осадкой фундамента здания. Для выяснения причин неравномерной осадки были проведены следующие исследования: 1) на основе топографических карт (1980–1981 гг.) и аэрофотоснимков (1941 г.) изучен рельеф участка до современной застройки; 2) проведена съемка методом потенциала ЕП участка; 3) выполнены ВЭЗ (7 точек); 4) проведено изучение динамики ЕП по профилю, пересекающему зону вероятного развития суффозии.

По результатам изучения топографических карт и аэрофотоснимков установлено, что до застройки территория имела густую эрозионную сеть, так как находится в нижней части моренного холма (перепад высот около 5 м). При строительстве эрозионные формы были засыпаны. По наблюдениям, в траншеях мощность техногенных насыпных грунтов в среднем составляет 0,5–1 м. На основе съемки ЕП выявлена пространственная структура ЕП, характеризующаяся отрицательной

аномалией (амплитуда около 10 мВ), приуроченной к центральной части здания, где развивается суффозионный процесс. Отрицательные значения потенциала ЕП указывают на нисходящее движение вод (инфильтрация с поверхности в грунтовые воды).

По данным ВЭЗ построен геоэлектрический разрез, анализ которого показал, что верхний относительно хорошо водопроницающий слой (техногенный грунт – песок с включениями гравия и обломков строительных материалов) подстилается слоем с более низкой водопроницаемостью (моренные суглинки). Движение инфильтрующихся осадков в слое техногенных грунтов зависит от поверхности рельефа водоупорного слоя моренных суглинков. Засыпанные техногенными грунтами промоины служат местами концентрации потока инфильтрующихся вод и развития суффозионных явлений вблизи и под зданием корпуса. Развитие суффозии, в свою очередь, является причиной неравномерной осадки фундамента и образования трещин в стенах здания.

Динамика ЕП были изучена путем повторной съемки по профилю, пересекающему место наиболее активной суффозии. На рис. 4 показаны графики потенциала ЕП, полученные с разницей в 2 месяца. Форма графиков в целом схожа. Ошибка наблюдений оценивается как $\pm 3,5$ мВ. Видно, что на участке 4–9 пикетов отклонения имеют наибольшую амплитуду – 5–15 мВ. На остальной части профиля величина отклонения не превышает 5 мВ.

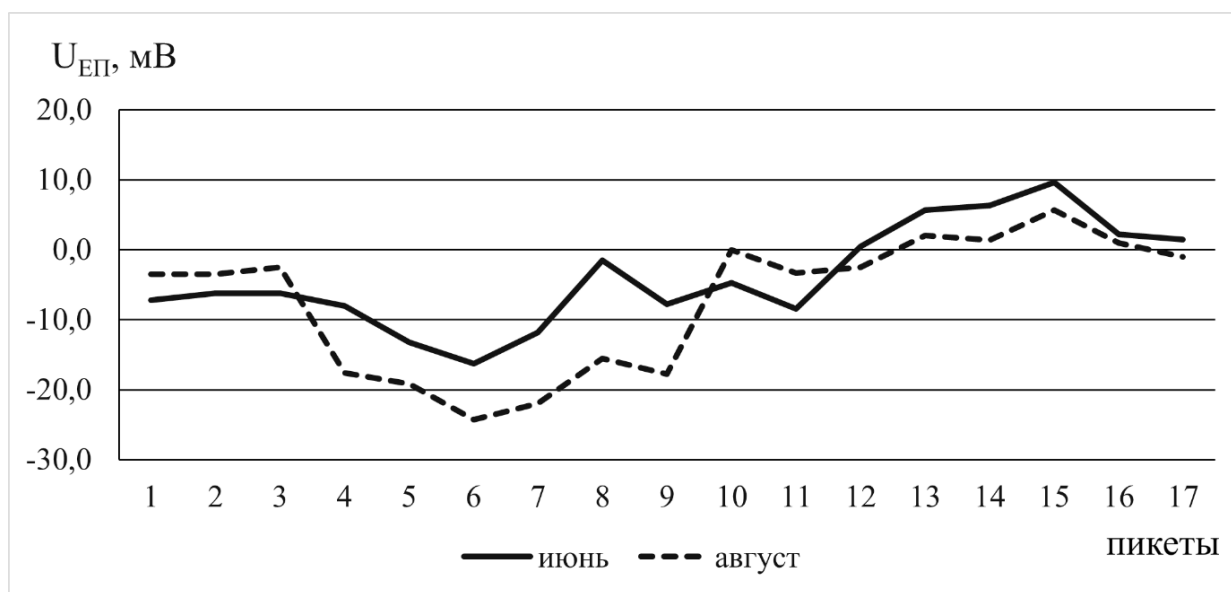


Рисунок 4 – Аномальная динамика потенциала ЕП над суффозионно активным участком

Если в предыдущих случаях рассмотрены геоэлектрические эффекты, обусловленные электрокинетическими явлениями в приповерхностных

водонасыщенных породах, то индикатором более глубоких процессов в зонах разломов выступают временные аномалии гравитационного поля.

Для изучения изменений гравитационного поля на двух участках, различающихся по тектоническому строению и современной геодинамической активности, были проведены повторные гравиметрические съемки. Гравиметрический профиль Костюковка – поселок Вишенский – деревня Зеленые Луки пересекает геодинамически активную зону сочленения трех разломов. Разломной зоне соответствует отрицательная аномалия приращения силы тяжести с амплитудой 2,5–4 мГал. Интерпретация в программе ZondGM2D установила наличие дефицита плотности ($\Delta\sigma_m$) на участке «Костюковка», который относительно соседних участков этого профиля составляет от $-0,05$ до $-0,02$ г/см³ и прослеживается до глубины 500 м. В верхней части разреза (до 200 м) в узкой полосе (около 100 м) выявлен дефицит плотности от $-0,25$ до $-0,15$ г/см³. Участок «Вишенский», напротив, характеризуется избыточной плотностью от $+0,10$ до $+0,25$ г/см³. Гравиметрический профиль по линии улица Песина – улица Тимофеевко (участок «ГГУ») характеризуется гравитационным полем, плавно уменьшающимся в северном направлении (2 мГал на 1,5 км профиля), что, вероятно, обусловлено соответствующим изменением глубины залегания кристаллического фундамента.

Временные изменения приращения силы тяжести ($\Delta\Delta g$) в пунктах повторных наблюдений

с интервалом 2 месяца показаны на рис. 5. На участке Зеленые Луки – Вишенский величина $\Delta\Delta g$ составляет от $-0,05$ до $0,06$ мГал. На участке Вишенский – Костюковка величина $\Delta\Delta g$ резко увеличивается – от $-0,09$ до $0,31$ мГал. Положительная временная аномалия $\Delta\Delta g$ ($0,25$ – $0,31$ мГал) локализуется в непосредственной близости к зоне пересечения Костюковского, Жлобинского и Гомельского разломов. Величина аномалии $\Delta\Delta g$ существенно превышает погрешность измерений (в 3–10 раз). Пространственно данная аномалия $\Delta\Delta g$ совпадает с ранее установленными аномалиями повышенного содержания водорода в подпочвенной атмосфере и тропосферного метана [7; 9]. По существующим представлениям, динамика приращения силы тяжести обусловлена изменениями плотности в зоне разлома, которые, в свою очередь, объясняются колебаниями газожидкой компоненты в трещиноватой среде. При этом имеет место парадокс больших скоростей, характерный для современных вертикальных движений земной поверхности, фиксируемых повторными геодезическими измерениями [14; 15]. В отношении гравитационного поля эта закономерность выражается в снижении амплитуды временных колебаний Δg с увеличением времени между измерениями, что объясняется их знакопеременным характером.

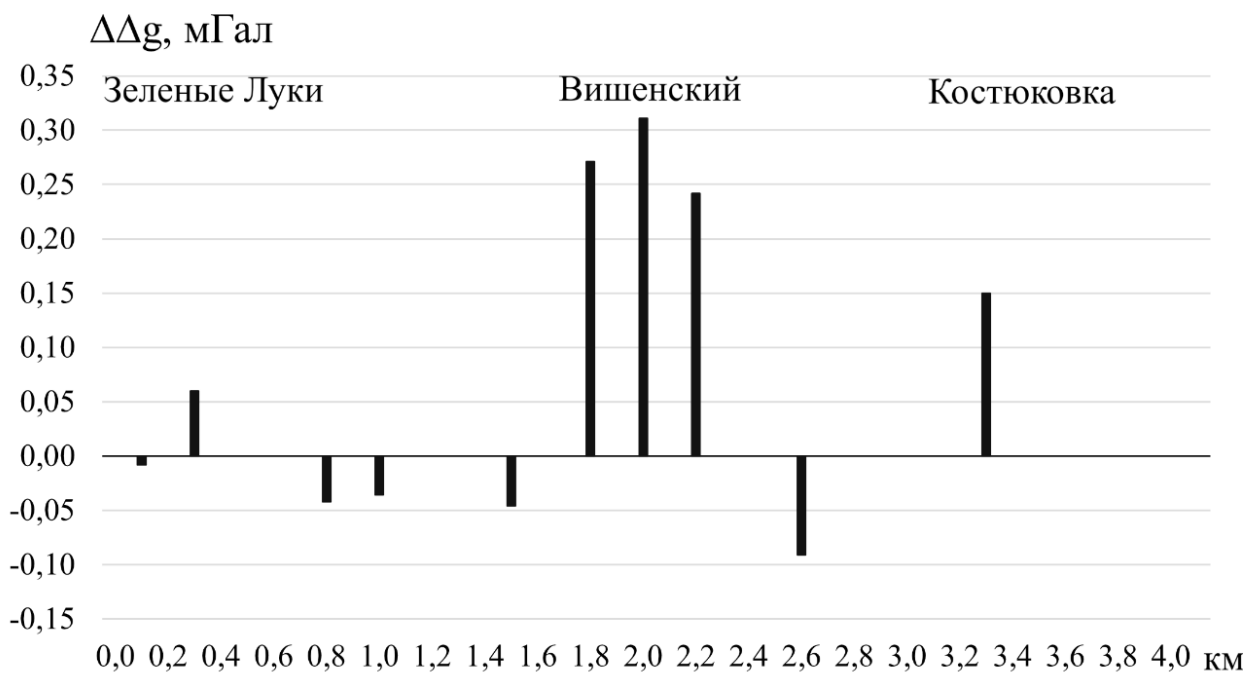


Рисунок 5 – Результаты повторных измерений приращения силы тяжести над геодинамически активной зоной пересечения разломов

На участке «ГГУ» временные изменения приращения силы тяжести в каждом пункте не превышают 0,05 мГал, за исключением одного пункта, находящегося в зоне активной суффозии

(рис. 6). Средняя величина $\Delta\Delta g$ по профилю составила $0,036 \pm 0,008$ (то есть сопоставима с погрешностью измерений). Газогеохимические аномалии на участке «ГГУ» отсутствуют.

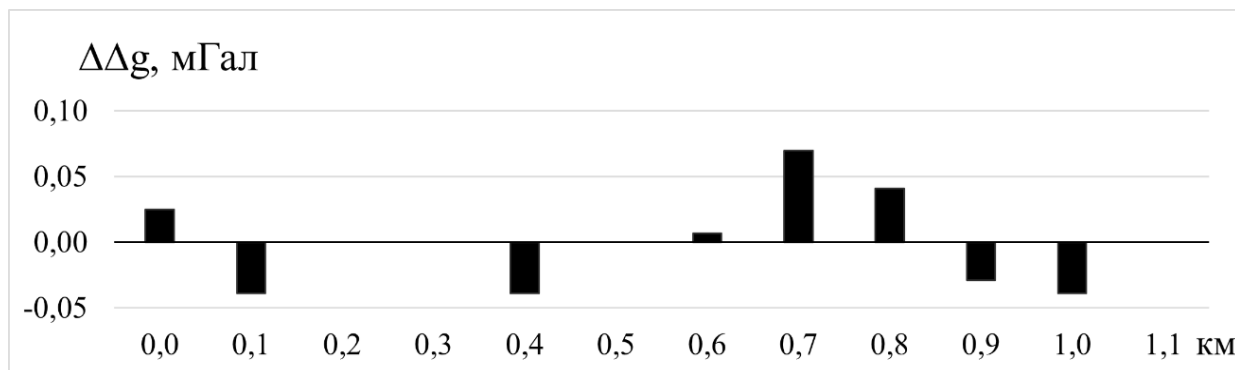


Рисунок 6 – Результаты повторных измерений приращения силы тяжести вне разломных зон

Аналогичные временные аномалии гравитационного поля в сочетании с аномалиями вертикальных движений земной поверхности ранее наблюдались на территории Припятского прогиба [1; 14; 15; 18]. Предполагается, что аномальные колебания гравитационного поля – это результат параметрического индуцирования деформаций разломной зоны, характеризующихся выраженной нелинейностью: малые воздействия вызывают значительную (до 2–3 порядков) деформационную реакцию. Разломная зона представляет собой нелинейный параметрический усилитель деформаций. Аномальные деформационные процессы обусловлены флуктуациями внутренних параметров (коэффициентов жесткости, трения, объема пор и трещин и, соответственно, плотности) внутри самой разломной зоны в условиях региональных квазистатических полей напряжений [14; 15].

Рассмотренные аномальные вариации локальных геофизических полей, возбуждаемые как экзогенными геологическими процессами, так и глубинными проявлениями современной геодинамики, могут служить одним из надежных индикаторов зон повышенной геодинамической опасности. Аномально высокие (превышающие фоновые значения в разы) по амплитуде колебания геофизических полей во времени являются отличительной чертой энергоактивных зон литосферы, отражая нелинейный характер их реакций на внешние воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполненных исследований:

проанализирован опыт изучения локальных пространственно-временных аномалий геофизических полей над энергоактивными зонами литосферы;

обоснована методика выявления геодинамически активных зон по аномальной динамике локальных геофизических полей;

зона развития оползневых процессов характеризуется аномальной динамикой естественного электрического поля (амплитуда колебания 10–30 мВ) и кажущегося электрического сопротивления (амплитуда колебания до 90 Ом·м), выявляемой в течение нескольких суток;

зона активной суффозии диагностируется аномальной динамикой естественного электрического поля (амплитуда колебания 5–15 мВ), проявляющейся во временном интервале от нескольких недель до первых месяцев;

активные разломы проявляются в аномальных вариациях гравитационного поля (амплитуда колебаний 0,1–0,3 мГал), фиксируемых в течение первых месяцев;

эффект аномальной динамики локальных геофизических полей имеет высокий потенциал применения для локализации зон проявления опасных экзо- и эндогеодинамических процессов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № X25Y3Б-079).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Багдасарова, М. В.** Современная динамика зон разломов нефтегазоносных территорий и новые геодинамические критерии поисков залежей углеводородов / М. В. Багдасарова, В. А. Сидоров // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – № 12. – С. 9–16.
2. **Баласанян, С. Ю.** Динамическая геоэлектрика / С. Ю. Баласанян. – Новосибирск : Наука, 1990. – 232 с.
3. **Баласанян, С. Ю.** Высокочувствительные энергоактивные точки Земли (явление ВЭТ): ключ к дальнейшему пониманию физики землетрясений? / С. Ю. Баласанян // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 1. – С. 83–99.
4. **Бычков, С. Г.** Прикладные задачи гравиметрии при обеспечении безопасности отработки месторождения растворимых солей / С. Г. Бычков, Г. В. Простолупов, Г. П. Щербинина // Геофизика. – 2018. – № 5. – С. 4–11.
5. **Бычков, С. Г.** Выявление природных и техногенных разуплотненных зон в подработанном массиве по данным высокоточных гравиметрических наблюдений / С. Г. Бычков, А. А. Симанов, В. В. Хохлова // Геофизика. – 2020. – № 5. – С. 26–30.
6. **Волгина, А. И.** Еще об одной причине неустойчивости гравитационного поля над месторождениями углеводородов / А. И. Волгина, В. А. Трофимов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 6. – С. 51–54.
7. **Гумен, А. М.** Газогеохимические индикаторы геодинамической активности глубинных разломов на юго-востоке Беларуси / А. М. Гумен, А. П. Гусев // Литасфера. – 1997. – № 6. – С. 140–149.
8. **Гусев, А. П.** Индикаторы активных разломов (на примере Гомельской структурной перемычки) / А. П. Гусев // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2024. – Т. 66, № 1. – С. 35–44. doi: 10.32454/0016-7762-2024-66-1-35-44.
9. **Гусев, А. П.** Газогеохимические индикаторы геодинамически активных зон / А. П. Гусев // Литасфера. – 2025. – № 1. – С. 145–154.
10. **Иваненкова, А. П.** Исследования геологической информативности суточной динамики естественных электрических и магнитных полей Земли на рудных объектах / А. П. Иваненкова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – Вып. 4. – С. 186–199.
11. **Иваненкова, А. П.** Исследования геологической информативности метода естественного электрического поля в динамическом варианте на безрудном объекте (на примере Муйского тоннеля БАМ) / А. П. Иваненкова, А. П. Карасев // Вестн. ИрГТУ. – 2007. – № 4 (32). – С. 58–69.
12. **Киссин, И. Г.** «Чувствительные зоны» земной коры как проявления межблоковых взаимодействий / И. Г. Киссин // Доклады академии наук. – 2006. – Т. 407, № 3. – С. 394–399.
13. **Киссин, И. Г.** Новые данные о «чувствительных зонах» земной коры и формирование предвестников землетрясений и постсейсмических эффектов / И. Г. Киссин // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 48, № 5. – С. 548–565.
14. **Кузьмин, Ю. О.** Современная геодинамика разломных зон: разломообразование в реальном масштабе времени / Ю. О. Кузьмин // Geodynamics & Tectonophysics. – 2014. – Vol. 5 (2). – P. 401–443. DOI: 10.5800/GT-2014-5-2-0135.
15. **Кузьмин, Ю. О.** Современная геодинамика опасных разломов / Ю. О. Кузьмин // Физика Земли. – 2016. – № 5. – С. 87–101. DOI: 10.7868/S0002333716050070.
16. **Лобанов, А. М.** Перспективы гравиметрии при изучении динамически нестабильных геологических объектов / А. М. Лобанов, В. В. Романов // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 7. – С. 43–46.
17. **Прогноз** нефтегазоносности и предвестники сейсмических событий по временным изменениям геофизических полей / В. А. Паровышний [и др.] // Уральский геофизический вестник. – 2009. – № 2. – С. 57–65.
18. **Сидоров, В. А.** Современная геодинамика и нефтегазоносность недр / В. А. Сидоров // Геология и охрана недр. – 2019. – № 2. – С. 38–50.
19. **Современные** геодинамически активные зоны платформ / В. И. Макаров [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2007. – № 2. – С. 99–110.
20. **Спивак, А. А.** Проявления разломных зон в геофизических полях / А. А. Спивак // Geodynamics & Tectonophysics. – 2014. – Vol. 5 (2). – P. 507–525.
21. **Структура** поверхности кристаллического фундамента Гомельской структурной перемычки и сопредельных территорий / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Литасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 19–29.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 10.09.2025

Рэцэнзент А. М. Яфімаў

АНАМАЛЬНАЯ ДЫНАМІКА ЛАКАЛЬНЫХ ГЕАФІЗІЧНЫХ ПАЛЁЎ ЯК ІНДЫКАТАР ГЕАДЫНАМІЧНАЙ БЯСПЕКІ

А. П. Гусеў

Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Ф. Скарыны
вул. Савецкая, 104, 246028, Гомель, Беларусь
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Мэта работы – вывучэнне анамальных прасторава-часавых варыяцый лакальных геафізічных палёў у геадынамічна актыўных зонах. Задачы, якая вырашаюцца: аналіз вопыту даследаванняў анамальнай дынамікі геафізічных палёў; распрацоўка метадыкі вывучэння анамальных варыяцый лакальных геафізічных палёў; выяўленне прасторава-часавых анамалій геафізічных палёў, абумоўленых экзагеадынамічнымі працэсамі; выяўленне прасторава-часавых анамалій геафізічных палёў, абумоўленых сучаснай геадынамічнай актыўнасцю ў зонах разломаў. Выкарыстаныя метады: электрычнае прафіляванне і вертыкальнае электрычнае зандзіраванне метадам супраціўлення, метады натуральнага электрычнага поля, гравіметрыя. Зона развіцця апоўзня характарызуецца анамальнай дынамікай натуральнага электрычнага поля (амплітуда вагання 10–30 мВ) і ўяўнага электрычнага супраціўлення (амплітуда вагання да 90 Ом·м), якая выяўляецца на працягу некалькіх сутак. Зона актыўнай суфазіі ў тэхнагенных грунтах дыягностуецца анамальнай дынамікай натуральнага электрычнага поля (амплітуда вагання 5–15 мВ), якая праяўляецца ў часавым інтэрвале ад некалькіх тыдняў да першых месяцаў. Актыўныя разломы выяўляюцца ў анамальных варыяцыях гравітацыйнага поля (амплітуда ваганняў 0,1–0,3 мГал).

Ключавыя словы: геафізічныя палі, анамальная дынаміка, экзагенная геадынаміка, апоўзень, суфазія, натуральнае электрычнае поле, гравіметрыя, зоны разломаў.

ANOMALOUS DYNAMICS OF LOCAL GEOPHYSICAL FIELDS AS AN INDICATOR OF GEODYNAMIC HAZARD

A. Gusev

F. Skorina Gomel State University
104 Sovetskaya St, 246028, Gomel, Belarus
E-mail: andi_gusev@mail.ru

The aim of the work is to study anomalous spatio-temporal variations of local geophysical fields in geodynamically active zones. The tasks to be solved: analysis of experience in studying anomalous dynamics of geophysical fields; development of a methodology for studying anomalous variations of local geophysical fields; identification of spatio-temporal anomalies of geophysical fields caused by exogeodynamic processes; identification of spatio-temporal anomalies of geophysical fields caused by modern geodynamic activity in fault zones. The methods used: electrical profiling and vertical electrical sounding using the resistance method, natural electric field method, gravimetry. The landslide development zone is characterized by anomalous dynamics of the natural electric field (oscillation amplitude of 10–30 mV) and apparent electrical resistance (oscillation amplitude up to 90 Ohm m), detected over several days. The zone of active suffusion in technogenic soils is diagnosed by anomalous dynamics of the natural electric field (oscillation amplitude of 5–15 mV), manifested in a time interval from several weeks to the first months. Active faults are manifested in anomalous variations of the gravitational field (oscillation amplitude of 0,1–0,3 mGal).

Keywords: geophysical fields, anomalous dynamics, exogenous geodynamics, landslide, suffusion, natural electric field, gravimetry, fault zones.