

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 550.83:556.38

Динамика естественного электрического поля как индикатор оползнеопасных участков в техногенном ландшафте (на примере Беларуси)

А.П. Гусев, П.А. Калейчик, М.С. Федорский, И.А. Шаврин

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
246019, Гомель, ул. Советская, 104. E-mail: andi_gusev@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 15 ноября 2017 г.)

Рассмотрены результаты изучения динамики естественного электрического поля (ЕЭП) в зонах, имеющих различную степень оползневой активности. Исследования проводились на тестовых объектах: берега рек Сож и Днепр, карьер по добыче песков. Установлено, что амплитуда суточных колебаний ЕЭП на оползнеактивных участках составляет 20-30 мВ при фоновых (вне оползнеактивного участка) значениях 1–8 мВ. Данный эффект существенно превышает погрешность изменений (1–2 мВ).

Ключевые слова: *оползень, геоэлектрические эффекты, аномальная динамика, естественное электрическое поле.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.2.120

Введение

Гравитационные геологические процессы (оползни, обвалы, осыпи, селеподобные потоки) представляют собой значительную проблему для техногенно преобразованных территорий, т. к. могут вызывать аварии транспортных и энергетических коммуникаций, разрушение зданий и сооружений, привести к гибели людей. В Беларуси наиболее важным гравитационным процессом являются оползни (оползни-обвалы и оползни-течения). Эти процессы в основном приурочены к склонам речных долин, но могут возникать в условиях техногенного рельефа (карьеры, отвалы отходов). Предпосылками образования оползней служат: наличие водоносной песчаной толщи у контакта с валунными глинами, суглинками и супесями; увлажнение нижележащих пород и потеря прочностных связей между частицами грунта; подрезка склонов водотоком, ко-

торая вызывает обрушение или оползание грунта; участие в оползневом процессе напорных вод нижележащего водоносного горизонта, усиливающее напряженное состояние в массиве. Техногенные факторы (вырубка деревьев на склоне, вибрационное воздействие, нарушение гидрогеологического режима, складирование многометровых терриконов отходов) могут приводить к резкой активизации оползневых процессов (Демьянович, 2001; Трофимов, Зилинг, 2002; Трацевская, 2008; Dai et al, 2002).

Опасность оползневых процессов для технических систем и людей требует разработки методов их выявления и прогнозирования. Использование многих методов при мониторинге оползней в условиях техногенного ландшафта затруднено особенностями последнего. Так, например, для диагностики некоторых инженерно-геологических процессов на территории

городов могут использоваться методы фитоиндикации, основанные на способности характеристик растительного покрова отражать изменения геологической среды (Гусев, 2006, 2015).

Для решения инженерно-геологических задач, в том числе для изучения оползневых процессов, широко используется метод естественного электрического поля (ЕЭП), основанный на изучении электрических полей, возникающих в геологической среде в результате электрохимических и электрокинетических процессов. Гидрогеологические условия, оказывающие большое влияние на развитие оползневых процессов, отражаются в ЕЭП. Участки, в пределах которых активизируются перемещения масс грунта, выделяются по интенсивностям изменения ЕЭП, отражающего фильтрационные потоки. Это обусловлено тем, что породы оползневого тела более разуплотнены по сравнению с устойчивым массивом пород и представляют собой зону дренажа. Метод ЕЭП много лет успешно используется для картирования и мониторинга оползней (Огильви, 1990; Фоменко, 2015; Jongmans, Garambois, 2007).

Феномен аномальной динамики геофизических полей (в том числе геоэлектрических) над различными энергоактивными геологическими объектами установил С.Ю. Баласанян (Баласанян, 1985, 1990). Такие объекты характеризуются аномальной полидисперсностью, многофазностью, гетерогенностью, многокомпонентностью, что обуславливает сравнительно быстрое изменение их электромагнитных свойств под действием экзогенных и эндогенных геологических процессов. Предполагается, что энергоактивные зоны электрокинетической природы характерны для инженерно-геологических объектов и представляют собой первый от земной поверхности капиллярный слой пород (до 5 м). Электрокинетические явления вызываются вариациями столба жидкости в капиллярах горных пород под действием различных факторов. Эмпирическим фактом является нестабильность электриче-

ских полей над объектами такого рода (Баласанян, 1985, 1990).

Оползни связаны с зонами тектонических нарушений, высокой водонасыщенности и другими факторами, которые создают условия для проявления аномальной динамики геофизических полей. 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 гравитационных сил) эффектами. Активизация оползневых процессов сопровождается интенсивным трещинообразованием, способствующим повышению интенсивности электробарокапиллярных потенциалов (Баласанян, 1985, 1990).

Цель нашей работы – выявление аномалий в динамике ЕЭП над оползнеопасными участками. Решаемые задачи: выбор объектов – тестовых участков, характеризующихся различной степенью оползневой активности; проведение повторных изменений ЕЭП на данных объектах; выявление особенностей динамики ЕЭП на оползнеактивных участках.

Объекты и методы

Исследования проводились на трех тестовых участках, расположенных на юго-востоке Беларуси.

Первый тестовый участок находился южнее г. Гомеля на правом берегу р. Сож (зона селитебной застройки). Геологические условия – аллювиальные отложения надпойменной террасы (преимущественно пески). Высота над урезом воды – 5–6 м. Азимутальные наблюдения ЕЭП с центральным («нулевым») фиксированным электродом проводились во время весеннего паводка (на р. Сож). Пункты наблюдения располагались: А – 200 м от реки Сож; Б – 20 м от р. Сож (оползневый участок, около 200 м²). Использовалась измерительная линия MN=10 м (в 2 позициях –

перпендикулярно и параллельно линии берега реки).

Второй тестовый участок находился в районе деревни Переделки (Лоевский район Гомельской области) на берегу р. Днепр (рис. 1). Объектом являлся активный оползень-обвал (площадь свыше 500 м²). Геологические условия – четвертичные и неогеновые отложения (пески, супеси, суглинки). Высота над урезом воды – до 20 м. Азимутальные наблюдения ЕЭП с центральным («нулевым») фиксированным электродом проводились в течение 3 суток в летний период. Пункты наблюдений: А – 200 м от обрыва; Б – на участке оползневого тела (трещинная зона). Использовалась измерительная линия MN=5 м (в 2 позициях – перпендикулярно и параллельно берегу реки).

Третий тестовый участок располагался вблизи карьера по добыче песков (Добрушский район Гомельской области) – рис. 2. Геологические условия – четвертичные и неоген-палеогеновые отложения (пески, супеси, суглинки). Глубина карьера 10 м. Азимутальные наблюдения ЕЭП с центральным («нулевым») фиксированным электродом проводились в течение 2 суток в летний период. Пункты наблюдений: А – 50 м от обрыва; Б – на участке оползневого тела (трещинная зона). Использовалась измерительная линия MN=5 м (в 2 позициях – перпендикулярно и параллельно границе карьера).

Для работы использована аппаратура: автокомпенсатор АЭ-72 и неполяризующиеся медно-купоросные электроды системы ВИРГ. Медные неполяризующиеся электроды заливались химически чистым раствором медного купороса. Для изготовления раствора применялась дистиллированная вода. Верхняя часть корпуса электрода, пробка и соединительные вилки сохранялись в сухом и чистом виде. Собственная поляризация электродов измерялась путем наблюдения разности потенциалов между электродами, попарно поставленными на расстоянии 10–15 см друг от друга. Изменение поляризации

между измерениями не превышало 1–2 мВ.

Результаты и их обсуждение

Для изучения геоэлектрических эффектов оползневых процессов нами были выбраны оползнеинертные и стабильные участки на разных объектах – берегах рек и карьерах.

На первом тестовом участке проведено 3 цикла измерений в весенний период: 25 марта (начало паводка на реке); 4 апреля (максимальный подъем уровня); 16 апреля (спад уровня). Результаты приведены в таблице.

В пункте наблюдения А естественное электрическое поле изменялось слабо: амплитуда колебания составила 1-3 мВ (т.е. в пределах погрешности измерений).

В пункте наблюдения Б на линии MN₁, расположенной перпендикулярно линии берега реки, значение ΔU_{ЕП} снизилось с -2,0 до -26,0 мВ. На линии MN₂, расположенной параллельно линии берега реки, также произошло снижение с +5,0 до -20,0 мВ. Отрицательные значения ЕЭП указывают на нисходящее движение вод в зоне аэрации. Такие отрицательные аномалии характерны для оползневых тел и обусловлены оттоком грунтовых вод. В верхней части оползня отрицательные значения могут быть обусловлены просачиванием воды по трещинам вблизи стенки отрыва (Огильви, 1990).

Наблюдаемая нами амплитуда временных колебаний ΔU_{ЕП} здесь составляет 24–25 мВ, т.е. отражает неустойчивость указанных процессов на участке оползня. Дальнейшие наблюдения показали, что через месяц здесь произошла активизация оползня (в реку сполз участок около 10 м²).

На втором тестовом участке (деревня Переделки, берег р. Днепр) вначале на основе электрического профилирования методом сопротивления по 3 профилям было выделено оползневое тело. Использовалась установка Веннера (MN=10, АВ=30; шаг 50 м). Участок оползня отразился в

аномалии пониженного электрического сопротивления до 60–80 ом·м (при фоне 100–150 ом·м).

Наблюдения здесь проводились в течение нескольких дней (в 8.00, 14.00 и 20.00). Всего выполнено 9 замеров. Ре-

зультаты измерений приводятся на рис. 3. Видно, что в пункте наблюдения А амплитуда колебаний $\Delta U_{\text{ЕП}}$ не превысила 8,0 мВ. Причем ощутимой разницы в зависимости от ориентации линии MN не зафиксировано.



Рис. 1. Оползень на берегу р. Днепр



Рис. 2. Карьер по добыче песков

Динамика значений $\Delta U_{\text{ЕП}}$ (мВ) на оползневом участке (р. Сож)

Время наблюдения	Пункт наблюдения			
	А		Б	
	MN_1^*	MN_2^{**}	MN_1^*	MN_2^{**}
25 марта	+10,0	+9,0	-2,0	+5,0
4 апреля	+11,0	+10,0	-23,0	-5,0
16 апреля	+10,0	+7,0	-26,0	-5,0
Амплитуда колебаний за период наблюдения	1,0	3,0	24,0	25,0

* - перпендикулярно относительно линии берега реки; ** - параллельно берегу реки.

В оползнеактивной зоне (пункт наблюдения Б) наблюдались более значительные колебания, амплитуда которых составила 26–27 мВ (рис. 3).

На третьем тестовом участке (карьер по добыче песков) наблюдения проводились в течение двух дней (в 9.00, 15.00 и 21.00). Всего выполнено 6 замеров. В пункте наблюдения А амплитуда колебаний $\Delta U_{\text{ЕП}}$ составляла 4–5,5 мВ. Какой-либо временной закономерности в этих колебаниях выделить нельзя (рис. 4).

На участке оползнеактивной зоны (пункт наблюдения Б) зафиксированы более существенные по амплитуде колебания ЕЭП. Амплитуда этих колебаний составила 18–30 мВ, т.е. в 4,5–6,5 раза больше, чем в пункте наблюдения А (рис. 4). Отрицательный знак $\Delta U_{\text{ЕП}}$ указывает на нисходящее движение инфильтрующейся в массиве грунтов воды.

На оползневых участках на р. Днепр и на карьере по добыче песков нами наблюдалась аномальная суточная динамика, которая по предположению С.Ю. Баласаняна (Баласанян, 1985, 1990) обусловлена электробарокапиллярным эффектом, т.е. 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 $\Delta U_{\text{ЕП}}$. Трещинообразование также влияет на инфильтрацию воды в горном массиве, что в свою очередь может отражаться в колебаниях значений электрокинетического потенциала.

Таким образом, на оползнеактивных участках имеет место нестабильность во времени ЕЭП (суточная и сезонная). Амплитуда суточных колебаний составляет 20–30 мВ при фоновых (вне оползнеактивного участка) значениях 1–8 мВ. Отмеченный эффект существенно превышает погрешность изменений (1–2 мВ).

Предположительно аномальная суточная динамика ЕЭП может быть обусловлена колебаниями капиллярных и трещинных вод в оползневом массиве под воздействием лунно-солнечных гравитационных сил.

Вероятно, проявление электробарокапиллярного и электрокинетического эффектов усиливается с активизацией оползневых процессов, которые сопровождаются интенсивным трещинообразованием. Трещинообразование и соответственно рост водонасыщенности в теле оползня способствуют повышению интенсивности электробарокапиллярного и электрокинетического потенциалов (Баласанян, 1990). Таким образом, нестабильность напряженно-деформированного состояния оползня за счет указанных эффектов отражается в нестабильности ЕЭП.

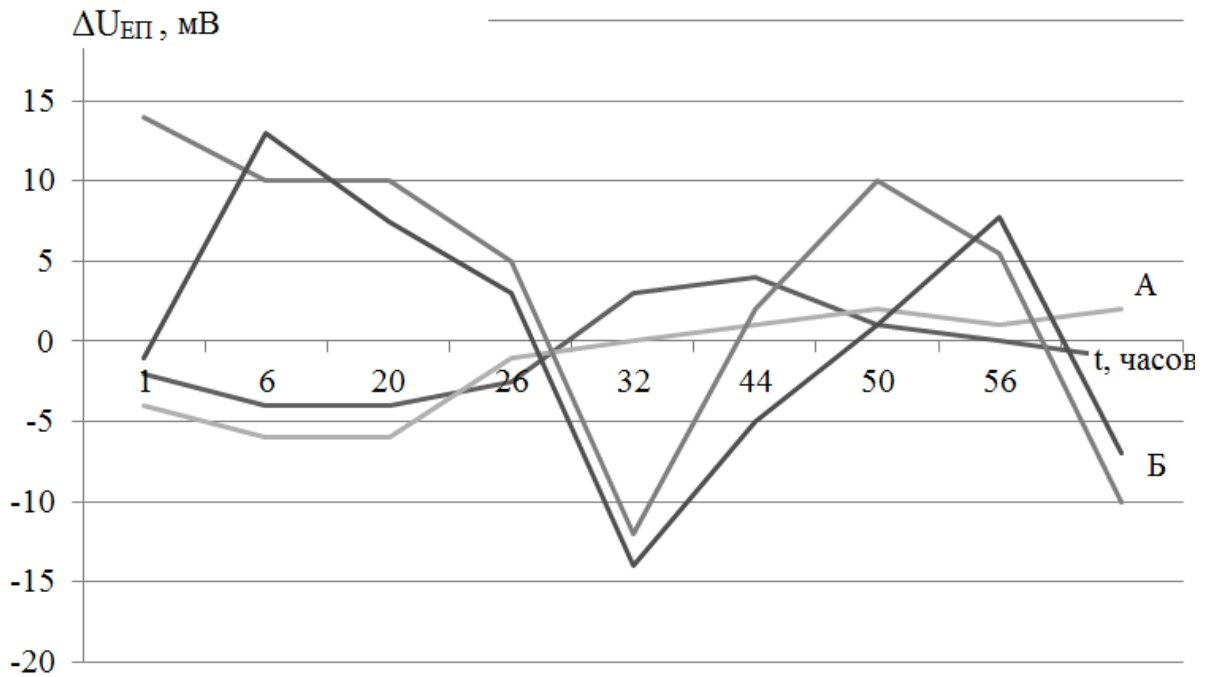


Рис. 3. Динамика значений ЕЭП на оползневом участке (р. Днепр)

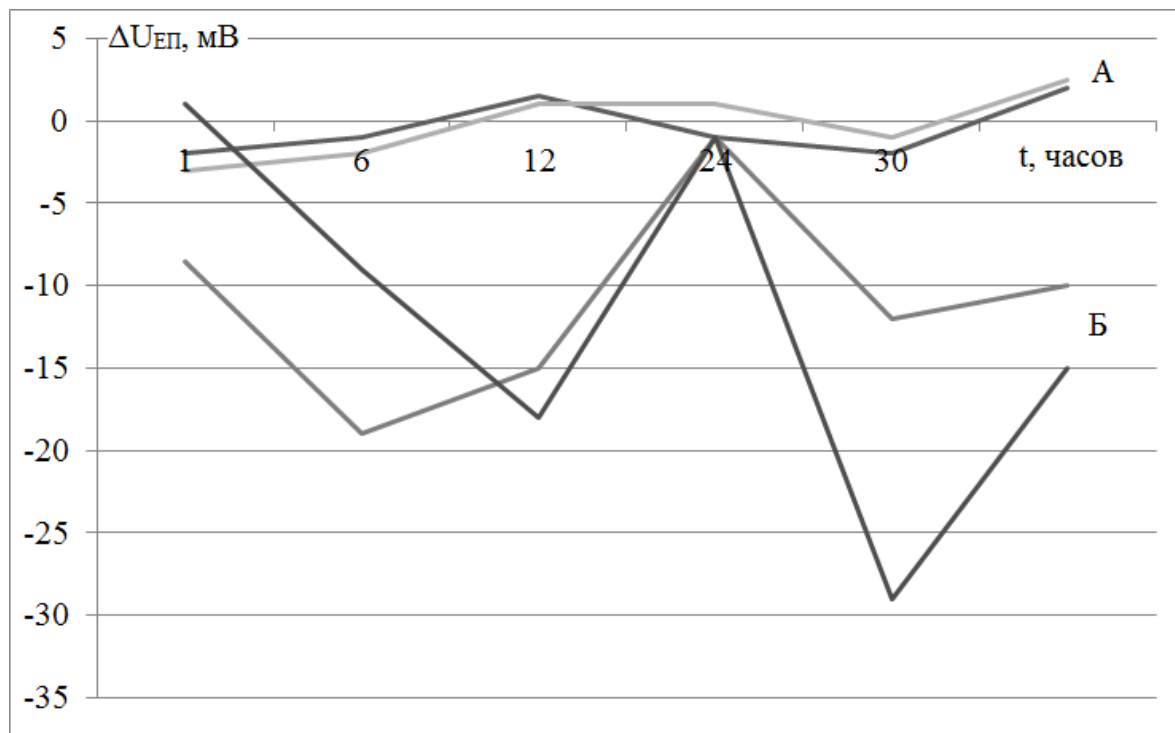


Рис. 4. Динамика значений ЕЭП на оползневом участке (карьер по добыче песков)

В условиях городской застройки, промышленных зон, полигонов отходов и других техногенных объектов применение метода ЕЭП ограничено высоким уровнем помех, сложным рельефом, наличием технических сооружений и т.д., что не позволяет выполнять картирование, а в некото-

рых случаях даже наблюдения по отдельным профилям. Для таких условий можно рекомендовать повторные азимутальные наблюдения ЕЭП с короткими приемными линиями на отдельных участках. Такие наблюдения позволяют выявлять оползне-

активные зоны по аномальной динамике ЭЭП.

Библиографический список

- Баласанян С.Ю.* Решение инженерно-геологических задач методами динамической электроразведки // Инженерная геология. 1985. Вып. 5. С. 113-123.
- Баласанян С.Ю.* Динамическая геофизика. Новосибирск: Наука, 1990. 232 с.
- Гусев А.П.* Фитоиндикаторы инженерно-геологических процессов на территории города // Природные ресурсы. 2006. №3. С. 33-40.
- Гусев А.П.* Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. №1. С. 128-131.
- Демьянович Н.И.* Оползни как один из факторов природного и техногенного риска на

- территории города Иркутска // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011. №4. С. 354-361.
- Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
- Трацевская Е.Ю.* Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / ГГУ им. Ф. Скорины. Гомель, 2008. 121 с.
- Фоменко Н.Е.* Диагностика состояния прудовых плотин комплексом электроразведочных методов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. №1. С. 26-32.
- Dai F., Lee C., Ngai Y.* Landslide risk assessment and management: an overview // Engineering Geology. 2002. Vol. 64 (1). P. 65-87.
- Jongmans D., Garambois S.* Geophysical investigation of landslides: a review // Bulletin Societe Geologique de France. 2007. Vol.178 (2). P.101-112.

Dynamics of Natural Electric Field as the Indicator for Sites of Landslide Hazard in a Technogenic Landscape (Example of Belarus)

A.P. Gusev, P.A. Kaleychik, M.S. Fedorsky, I.A. Shavrin

F. Skorina Gomel State University, 104 Sovetskaya Str., Gomel 246019, Belarus

E-mail: andi_gusev@mail.ru

The results of studying the dynamics of the natural electric field (NEF) in zones with different range of the landslide activity are considered. The study was carried out on the test sites: the banks of the Sozh and Dnieper Rivers, a quarry for the sand extraction. It was established that the amplitude of diurnal variations of the NEF on landslide-active areas is 20-30 mV, with background values (outside the landslide-active section) of 1-8 mV. This effect significantly exceeds the measurement error 1-2 mV.

Key words: *landslide; geoelectric effects; anomalous dynamics; natural electric field.*

References

- Balasanian S.Yu.* 1985. Resheniye inzhenerno-geologicheskikh zadach metodami dinamicheskoy elektrorazvedki [Solution of engineering-geological problems by methods of dynamic electric exploration]. Inzhenernaya geologiya. 5:113-123. (in Russian)
- Balasanian S.Yu.* 1990. Dinamicheskaya geofizika [Dynamic geophysics]. Nauka, Novosibirsk, p.232. (in Russian)
- Gusev A.P.* 2006. Fitoindikatory inzhenerno-geologicheskikh protsessov na territorii goroda [Phytoindicators of engineering-geological processes on the city area]. Prirodnyye resursy. 3:33-40. (in Russian)
- Gusev A.P.* 2015. Fitoindikatory tekhnogenogo podtopleniya v zone vliyaniya poligona promyshlennykh otkhodov [Phytoindicators of technogenic flooding in the zone of influence of the industrial waste landfill]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. 1:128-131 (in Russian)
- Demyanovich N.I.* 2011. Opolzni kak odin iz faktorov prirodnogo i tekhnogenogo riska na territorii goroda Irkutsk [Landslides as one of the factors of natural and man-made risk in

- the territory of the city of Irkutsk]. Geoeкологиya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya. 4:354-361. (in Russian)
- Ogilvy A.A.* 1990. Osnovy inzhenernoy geofiziki [Fundamentals of engineering geophysics]. Nedra, Moskva, p. 501. (in Russian)
- Trofimov V.T., Zilling D.G.* 2002. Ekologicheskaya geologiya [Ecological geology]. Geoinformmark, Moskva, p. 415. (in Russian)
- Tratsevskaya E.Yu.* 2008. Zakonomernosti formirovaniya geologicheskikh opasnostey Belarusi [Regularities of formation of geological hazards of Belarus]. F. Skoriny GGU, Gomel, p.121. (in Russian)
- Fomenko N.E.* 2015. Diagnostika sostoyaniya prudovykh plotin kompleksom elektrorazvedochnykh metodov [Diagnostics of the condition of pond dams by complex of electrical methods]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka. 1:26-32 (in Russian)
- Dai F., Lee C., Ngai Y.* 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology. 64(1):65–87.
- Jongmans D., Garambois S.* 2007. Geophysical investigation of landslides: a review. Bulletin Societe Geologique de France. 178(2):101-112.