

О.Н. Тимченко, А.В. Рубан

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Рассмотрены методы исследования напряженно-деформированного состояния пород оползневого склона, а также методы изучения инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневый склон.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, оползневый склон, прочностные и деформационные свойства, геологические свойства пород.

O.N. Timchenko, A.V. Ruban

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine

STUDY OF FORECASTING METHODS OF LANDSLIDE PROCESSES ON HIGHWAYS IN MOUNTAINOUS AREA

The methods for analysis of strain-stress state of rocks on landslide slope as well as the methods of study of engineering and geological properties of rocks that compose the landslide slope are considered.

Keywords: strain-stress state, landslide slope, strength and deformational properties, geological properties of rocks.

В настоящее время в связи с интенсивным народно-хозяйственным освоением значительных территорий все большее значение приобретают инженерно-геологические исследования экзогенных геологических процессов, среди которых особое место занимают оползневые процессы. Оползневые процессы являются самыми распространенными и в то же время наиболее сложными, длительными и многофакторными, принося огромные убытки народному хозяйству.

По определению П.И. Брайта [1], оползень является сложным и опасным физико-геологическим процессом в виде движения грунтовых масс вниз по склону под влиянием силы тяжести. Им же, а затем Г.И. Тер-Степаняном [2] предприняты попытки классифицировать различные виды оползней по характеру и причинам их естественного перемещения в связи с системой реализации геодезических методов изу-

чения оползневой динамики. Вместе с тем следует признать, что характер динамики оползней, естественно, индивидуален и может быть систематизирован и классифицирован лишь в пределах общей оползневой зоны с близкими физико-геологическими свойствами. Г.И. Тер-Степаняном [3, 4] обобщены и глубоко обоснованы геодезические методы изучения динамики оползней, опирающиеся на ряд исследований Н.Г. Келля [5, 6]. Однако они не были реализованы своевременно и в достаточной степени, а в настоящее время утратили свою актуальность в связи с развитием современных методов и средств геодезических измерений, позволяющих с высокой точностью контролировать одновременно разнообразные перемещения в пределах общих оползневых зон и проявление их особенностей.

Особую сложность и интерес представляет малоизученная динамика оползневых склонов, подверженных техногенным воздействиям. При этом, как правило, имеются лишь данные нерегулярно организованного геодезического контроля за перемещением оползней и отсутствуют не только количественные, но и описательные характеристики пространственно-временных параметров техногенных воздействий. Очевидно, что в таких условиях неполноты исходной информации задача выявления скрытых закономерностей развития оползневого процесса является актуальной.

Исследование динамики оползней неразрывно связано с изучением напряженного состояния пород оползневого склона. Характер распределения напряжений в массивах горных пород должен учитываться и при характеристике их прочностных и деформационных свойств. В настоящее время установлено, что взаимоотношение напряжений и смещений зависит от реологических свойств пород [7]. Среди зарубежных исследований большой интерес представляют работы Н. Хафта (Швеция), А. Шайдеггера (США), А. Скеиптона (Англия), Л. Мюллера (Германия), П.М. Панюкова, Р.С. Золотарева, Р.И. Тер-Степаняна, В.Д. Ломтадзе (Россия).

Цель работы – проведение анализа существующих методов исследования напряженно-деформированного состояния пород оползневого склона, а также методов исследования инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневой склон. Полученные в результате наблюдений количественные характеристики необходимы для обоснования и выбора оптимальных противооползневых мероприятий, а также для прогнозирования возникновения оползней. Такими характери-

стиками являются данные о механизме и динамике оползневой процесса; об инженерно-геологических свойствах пород, слагающих оползень, и изменении этих свойств в зависимости от влияния различных факторов; данные об изменении напряженного состояния внутри оползневой массы. Анализ вышеперечисленных данных вместе с изучением оползнеобразующих факторов позволяет понять сущность оползневой процесса, выяснить основные геологические закономерности его развития.

Методы изучения напряженно-деформированного состояния пород оползневых склонов

Процессы, вызывающие подвижки оползней, могут быть установлены с помощью различных методов. Грунтовые характеристики возможно определить рекогносцировкой местности, обследованием участков автомобильной дороги или методами подземных разработок. Геоморфологические изменения устанавливаются по данным обследований грунтов, геологическим картам, расшифровкой данных аэрофотосъемки или дистанционным зондированием. Физические изменения определяются с помощью сейсмографов, датчиков перемещений, сенсоров температуры, измерителей потоков или пьезометров [8, 9].

На начальном этапе идентификации оползневых процессов на автомобильных дорогах в горной местности используется техника рекогносцировки местности. Топографические карты содержат подробные данные грунтовых контуров. Существенные изменения грунтовых условий могут быть установлены путем изучения топографических карт. Широкое распространение получили геологические карты разных масштабов, которые позволяют установить геологические особенности фундаментов грунтов. Климатологические данные и архивные сведения наблюдения за оползнеопасным регионом могут обеспечить соответствующие данные о разрушении во время значительных осадков.

Полевое обследование является завершающим этапом в рекогносцировке местности. Главной целью полевых обследований является обновление ранее полученных данных, установление критериев последующих подземных наблюдений и фиксация размеров или других проявлений оползней.

Полевые методы исследования напряженного состояния горных пород В.Д. Ломтадзе предлагает разделять на структурно-геологические, геофизические и методы непосредственных измерений [10].

По структурно-тектоническим условиям можно получить представление о росте величины напряжения в горных породах. Геофизические методы, основанные на изучении изменений разных физических параметров в зависимости от напряженного состояния, дают не прямые показатели об ориентировании напряжения и его величине.

Метод повторной трещинной съемки является косвенным методом изучения напряженно-деформированного состояния горных пород на оползневом склоне. Характер и тип оползневых трещин позволяют говорить о развитии различного рода напряжений – сжатия, растяжения и сдвига. При повторном изучении трещин представляется возможным судить о распределении напряжений в склоне во времени на различных стадиях его развития.

Геофизические методы изучения напряженно-деформированного состояния горных пород, которые составляют оползнеопасные склоны, в последнее время все чаще начинают применяться при режимных стационарных исследованиях. Следует отметить, что геофизические методы сравнительно давно применяются в инженерной геологии и гидрогеологии для исследования оползней, напряженного состояния пород, а также динамики оползневого процесса.

Электроразведочные методы основаны на зависимости электрических свойств пород от изменения напряженного состояния массива горных пород. Основными факторами, влияющими на электропроводность оползневых пород, являются состав, структурно-текстурные особенности и влажность. Гидрологические условия должны быть стабильными во времени, чтобы можно было выявить влияние деформаций на электропроводность.

Использование параметров анизотропии позволяет избежать влияния гидрогеологического фактора и рассматривать величину и направление большой оси эллипса анизотропии с преимущественным ориентированием трещиноватости, т.е. с развитием оползневого процесса. При этом могут быть два варианта исследования: 1) определение направления оползневого процесса и оконтуривание зон сжатия и растяжения, 2) режимные наблюдения за развитием оползневого процесса.

Результаты режимных наблюдений предлагается оформлять в виде следующих зависимостей [9]:

$$\rho_{ка} / \rho_{кн} = f(t); \quad K_a / K_n = f(t) \quad \text{или} \quad \lg(K_a / K_n) = f(t),$$

где $\rho_{кн}$ и K_n – начальные значения измеряемых параметров; $\rho_{ка}$ и K_a – текущие значения параметров; t – календарное время в днях.

Достоинством рассмотренного метода электроразведки является возможность зафиксировать изменения, происходящие в породах на стадии подготовки к смещению, а также выделить и оконтурить наиболее оползнеопасные участки, что невозможно сделать традиционными методами. Ограничение применения метода связано с тем, что результаты искажаются при пересеченном рельефе земной поверхности, при наличии неоднородных по составу горных пород, смятых в складки, и из-за технических помех, возбуждающих электрические токи как на поверхности, так и в глубине.

Методы исследования инженерно-геологических свойств пород, слагающих оползневый склон

При исследованиях оползней особое внимание уделяется породам, слагающим оползневый склон, свойства которых являются важнейшим фактором образования оползней [11]. Методам исследования инженерно-геологических свойств пород придается большое значение как отечественными, так и зарубежными учеными.

В последнее время широко применяются полевые методы испытания пород. В горно-складчатых областях (Крым, Карпаты) большое количество крупнообломочных включений в оползневых отложениях во многих случаях исключает применение обычных лабораторных методов для изучения прочностных и деформационных свойств пород. Стандартные лабораторные приборы используются здесь для исследования песчано-глинистого заполнителя, а при испытаниях пород применяются крупногабаритные приборы и специальные методики.

Изучение геологических свойств пород представляет большой интерес для оценки устойчивости склона и прогнозирования оползневого процесса. Напряженно-деформированное состояние пород, вовлеченных в оползневый процесс, меняется под длительным воздействием напряжений. Основными показателями механических свойств пород являются значения деформационных и прочностных характеристик. Данные лабораторных исследований реологических свойств пород экстраполируются на сроки, во много раз превышающие продолжительность испытаний.

Геодезические методы наблюдения за смещением оползня

Одним из путей более глубокого изучения оползневых процессов является количественная оценка их динамики, изменения напряженно-деформированного состояния пород, оползней фазами и стадиями их развития, деформаций и характера движений земляных масс и др. Поэтому вопросы количественного изучения динамики оползневых процессов привлекают все возрастающее внимание. Сюда относятся наблюдения за движением оползней, оползневыми трещинами и деформациями зданий и инженерных сооружений, расположенных на них.

Существует много методов инструментальных наблюдений за смещением оползней, большинство которых основано на применении геодезических приемов. Их преимущество заключается в возможности получения величин абсолютных смещений оползней [1].

Геодезические наблюдения обычно ведутся за смещением ограниченного числа точек, выбираемых на поверхности оползня; при этом часть точек располагается на прилегающих неподвижных участках. Точки, по которым ведутся наблюдения, закрепляются в виде постоянных знаков. Это обычно врытые в землю деревянные, металлические или бетонные столбы, на которых имеются головки с центром, являющимся собственно знаком для наблюдений. Иногда знаком служат металлические стержни или раскрашенные визирные цели, заделываемые в стены зданий и сооружений; их называют марками.

Геодезические знаки в зависимости от места установки разделяются на неподвижные реперы и подвижные, или оползневые точки; первые устанавливаются на заведомо подвижных участках, а вторые – на поверхности оползня. Часть неподвижных реперов служит для установки на них инструментов, такие реперы будем называть опорными. Другие неподвижные реперы служат для получения исходных направлений, их будем называть ориентирными пунктами. Оползневые точки должны быть расположены в местах, наиболее важных для анализа механизма оползня. Поэтому при выборе мест установки опорных оползневых точек необходимо консультироваться с геологами.

Геодезические методы наблюдений за смещением оползней подразделяются на следующие группы [4]:

- 1) осевые (одномерные) методы для определения смещения точки по отношению к заданной линии или оси;

2) плановые (двухмерные) методы для определения смещения проекции точки на горизонтальной плоскости;

3) высотные методы для определения только вертикальных смещений точек;

4) пространственные (трехмерные) методы для определения полного смещения точки в пространстве.

Рассмотрим их последовательно.

Осевые методы применяются в тех случаях, когда направление смещения точки можно установить быстро или менее точно. Производя периодические измерения по отношению к этому направлению, можно получить горизонтальную величину смещения точки. Если действительное направление движения точки неизвестно, то осевые методы дают линии составляющие движения.

К осевым методам относятся:

1) метод расстояний, заключающийся в измерении расстояний по прямой линии между вешками, установленными вдоль движения оползня;

2) метод створов, заключающийся в измерении отклонений (поперечных смещений) оползневых точек относительно створа, назначенного перпендикулярно направлению движения оползня;

3) метод лучей, заключающийся в определении визирного луча с неподвижного репера на оползневый знак.

Плановые методы являются более универсальными, так как они дают полную картину смещения оползневых точек в пространстве. Это наиболее важная группа методов. К ним относятся:

1) метод линейных засечек;

2) метод прямых геодезических засечек;

3) метод обратных геодезических засечек;

4) комбинированный метод измерения углов и расстояний;

5) полигонометрический метод.

Высотные методы дают возможность определения вертикальных перемещений оползневых точек, к ним относятся:

1) метод геометрического нивелирования, заключающийся в продолжении нивелирных ходов и определении превышений оползневых точек по отношению к опорным реперам;

2) метод тригонометрического нивелирования.

Выводы

Исследование механизма и кинематики оползней осуществляется в основном традиционными топогеодезическими методами. Повышение точности измерений достигается путем использования более совершенной геодезической аппаратуры, правильным выбором средств измерений. Необходимо развивать крупномасштабную аэросъемку и применять фотограмметрическую съемку, особенно эффективную при оползнеопасном процессе, который быстро развивается. Для изучения глубинных деформаций используются новые конструкции реперов.

Изучение напряженно-деформированного состояния пород геофизическими методами является новым направлением в режимном исследовании оползней. Рассмотренные в обзоре методы и примеры их использования свидетельствуют о больших возможностях этих методов и целесообразности их приложения для решения разных заданий. Основное развитие этого направления исследований должно идти по линии модернизации аппаратуры, разработки новых или усовершенствования существующих методик работ.

В изучении инженерно-геологических свойств горных пород, которые составляют оползнеопасные участки, четко наметилась тенденция к комплексному детальному анализу основных закономерностей изменения этих свойств во времени и влияния на них минерального состава, структурно-текстурных характеристик и степени выветренности. Все большее развитие получают полевые методы исследования физико-механических характеристик горных пород.

Список литературы

1. Брайт П.И. Геодезические методы измерения смещений на оползнях. – М.: Недра, 1965. – 116 с.
2. Тер-Степанян Г.И. Глубинная ползучесть склонов и методы ее изучения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Ереван, 1955. – 37 с.
3. Тер-Степанян Г.И. Многолучевой дифференциальный метод наблюдений вертикальных смещений оползневых точек // Проблемы геомеханики. – 1971. – № 5. – С. 147–156.
4. Тер-Степанян Г.И. Геодезические методы изучения динамики оползней. – М.: Недра, 1979. – 157 с.
5. Келль Н.Г. Геодезическое изучение движения оползней на Крымской оползневой станции. – Ростов н/Д, 1939. – С. 152–169.

6. Келль Н.Г., Белоликов А.Н. Определение смещений точек на оповзнях дифференциальным методом. – М.: Углетехиздат, 1954. – 44 с.
7. Будин А.Я. О прогнозировании оползней, вызванных проявлением реологических свойств грунтов // Реология грунтов и инженерное мерзлотоведение. – М.: Наука, 1982. – С. 85–93.
8. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 384 с.
9. Саломатин В.Н., Ерыш И.Ф. Методы исследования режима оползней. – М., 1980. – 49 с.
10. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
11. Гулакян К.А., Зуев В.В., Осюк В.А. Инженерно-геологическое прогнозирование экзогенных геологических процессов // Гидрогеология, инженерная геология. – 1992. – № 3. – С. 30–39.

References

1. Brait P.I. Geodezicheskie metody izmereniia smeshchenii na opolzniakh [Geodesic methods of displacements measuring on landslides]. Moscow: Nedra, 1965, 116 p.
2. Ter-Stepanian G.I. Glubinnaiia polzuchest' sklonov i metody ee izucheniia [Deep creep of slopes and methods of its study]. Abstract of the thesis of the Ph.D. in Technical Sciences, Erevan, 1955, 37 p.
3. Ter-Stepanian G.I. Mnogoluchevoi differentsial'nyi metod nabliudeniia vertikal'nykh smeshchenii opolznevnykh toчек [Multibeam differential method of supervisions for vertical displacements of landslide points]. *Problemy geomekhaniki*, 1971, no. 5, pp. 147-156.
4. Ter-Stepanian G.I. Geodezicheskie metody izucheniia dinamiki opolznei [Geodesic methods of landslide's dynamics study]. Moscow: Nedra, 1979, 157 p.
5. Kell' N.G. Geodezicheskoe izuchenie dvizheniia opolznei na Krymskoi opolznevoi stantsii [Geodesic study of landslides kinematics at the Crimean landslide station]. Rostov-na-Donu, 1939, pp. 152-169.
6. Kell' N.G., Belolikov A.N. Opredelenie smeshchenii toчек na opovzniakh differentsial'nym metodom [Determination of displacements of points on landslides with a differential method]. Moscow: Ugletekhizdat, 1954, 44 p.
7. Budin A.Ia. O prognozirovanii opolznei, vyzvannykh proiavlениem reologicheskikh svoistv gruntov [About forecasting of landslides caused the

display of rheological properties of grounds]. *Reologiiia gruntov i inzhenernoe merzlotovedenie*, 1982, pp. 85-93.

8. Zolotarev G.S. Metodika inzhenerno-geologicheskikh issledovaniia [Method of engineering-geological studies]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1990, 384 p.

9. Salomatin V.N., Erysh I.F. Metody issledovaniia rezhima opolznei [Research method of the mode of landslides]. Moscow, 1980, 49 p.

10. Lomtadze V.D. Inzhenernaia geologiiia. Inzhenernaia geodinamika [Engineering geology. Engineering geodynamics]. Leningrad: Nedra, 1977, 479 p.

11. Gulakian K.A., Zuev V.V., Osiuk V.A. Inzhenerno-geologicheskoe prognozirovanie ekzogennykh geologicheskikh protsessov [Engineering-geological forecasting of exogenous geological processes]. *Gidrogeologiiia, ingenernaia geologiiia*, 1992, no. 3, pp. 30-39.

Получено 16.10.2014

Об авторах

Тимченко Ольга Николаевна (Харьков, Украина) – ассистент кафедры изысканий и проектирования дорог и аэродромов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (61002, г. Харьков, ул. Петровского, 25, e-mail: oleka55@gmail.com).

Рубан Анна Валериевна (Харьков, Украина) – студентка Харьковского национального автомобильно-дорожного университета (61002, г. Харьков, ул. Петровского, 25, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua).

About the authors

Timchenko Olga Nikolaevna (Kharkov, Ukraine) – Assistant, Department of Researches and Designing of Highways and Airports, Kharkiv National Automobile and Highway University (25, Petrovskii st., Kharkov, 61002, Ukraine, e-mail: oleka55@gmail.com).

Ruban Anna Valerievna (Kharkov, Ukraine) – Student, Kharkiv National Automobile and Highway University (25, Petrovskii st., Kharkov, 61002, Ukraine, e-mail: rp@khadi.kharkov.ua).