

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Институт наук о Земле

Кафедра грунтоведения и инженерной геологии

Оценка инженерно-геологических условий ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург

2018

УДК 624.131:624.137
ББК 26.3
О-93

Утверждено на заседании Учебно-методической комиссии Института наук о Земле
СПбГУ

Составители:

- доцент кафедры грунтоведения и инженерной геологии СПбГУ,
к. г.-м.н. Бурлуцкий С.Б.
- старший преподаватель кафедры грунтоведения и инженерной геологии СПбГУ,
к. т. н. Кудашов Е.С.

Бурлуцкий С.Б., Кудашов Е.С.

Оценка инженерно-геологических условий оползневых склонов — СПб.: Лема, 2018. — 35 с.

Рецензенты:

Профессор кафедры геофизики, д.г.-м.н. К.В. Титов

Директор Центра инженерных исследований, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета, к.г.-м.н. Г.Б. Поспехов

ISBN 978-5-00105-370-5

Содержание

Введение.....	4
Сущность оползневых явлений.....	5
Причины образования оползней.....	5
Обобщенная классификация оползней.....	6
Методы оценки оползневой опасности.....	7
Определение наиболее вероятной расчетной круглоцилиндрической поверхности скольжения оползня.....	10
Изучение структуры оползня с помощью наземных геофизических методов.....	13
Методы расчета устойчивости оползней.....	20
Метод расчета устойчивости оползней, имеющих наклонную поверхность скольжения.....	21
Метод расчета устойчивости оползней, имеющих вогнутую условно круглоцилиндрическую поверхность скольжения.....	22
Тема 1: Оценка инженерно-геологических условий строительства газопровода на оползневом склоне долины р. Калабатка.....	24
Тема 2: Обоснование конструктивных параметров ограждающих дамб отвального сооружения отходов химической промышленности, сформированного гидравлическим способом, в Ленинградской области.....	31
Литература.....	35

Введение

Оползни относятся к числу наиболее опасных геологических процессов и представляют угрозу не только инженерным сооружениям, но и могут повлечь за собой значительные человеческие жертвы. Оползни могут возникать по бортам карьеров, при разработке полезных ископаемых открытым способом. С оползневыми явлениями приходится сталкиваться довольно часто по берегам рек, озер, морей, а также в горной местности.

В последние годы разработан и опубликован ряд Сводов правил (СП) проведения инженерно-геологических изысканий в районах развития опасных геологических процессов. В СП подчеркнута необходимость детального изучения геодинамической обстановки объектов строительства. Для повышения детальности и эффективности инженерно-геологических исследований оползней необходимо привлечение методов, позволяющих оперативно охарактеризовать неоднородную структуру оползневых массивов, осуществить оценку изменения в них физико-механических свойств пород, а также выделить зоны ослабления, приуроченные к основным элементам оползня. Согласно СП, эти задачи могут быть решены с привлечением инженерно-геофизических методов исследования. Применение геофизических методов открывает дополнительные возможности. Они позволяют обследовать большие площади при детальности наблюдений, недоступной для методов инженерно-геологических изысканий.

Анализ результатов комплексных инженерных изысканий позволит охарактеризовать структуру оползневых массивов, выделить зоны ослабления, приуроченные к основным элементам оползня, выполнить оценку устойчивости оползневых массивов, предупредить их развитие и, при необходимости, локализовать дальнейшее движение оползня.

В рамках освоения материалов по дисциплине «Инженерная геодинамика» предполагается выполнения курсовой работы с целью углубления знаний студентов в области оценки инженерно-геологических условий территорий распространения оползневых процессов. Помимо традиционных методов оценки оползневой опасности, применяемых в инженерной геологии, в настоящем учебно-методическом пособии предполагается освоение комплексного подхода к анализу материалов инженерно-геологических и геофизических исследований оползневых структур.

Целью курсовой работы является оценка инженерно-геологических условий оползневых склонов.

Задачи исследования геодинамической обстановки:

1. Построение существующей поверхности скольжения на оползневом склоне по данным крупномасштабной (1:1000 или 1:500) инженерно-геологической съемки;
2. На основе комплексного анализа материалов инженерно-геологических и геофизических исследований уточнение строения оползневого массива и расположения существующей поверхности скольжения;
3. Расчет устойчивости оползневого склона.

Сущность оползневых явлений

Оползень представляет собой массу горных пород, сползшую или сползающую вниз по склону или откосу. Образование оползня – это геологический экзогенный процесс, проявляющийся в смещении масс горных пород вследствие нарушения их устойчивости, под влиянием силы тяжести, когда касательные напряжения становятся больше сопротивления сдвигу. Оползнем также называют участок смещенных горных пород, включая зоны отрыва, транзита и накопления.

Строительство сооружений и их эксплуатация в районах распространения или возможного образования гравитационных явлений, к которым относятся оползни, является сложной проблемой. В отдельных районах они существенно изменяют рельеф поверхности земли, уничтожают расположенные на них угодья, нарушают устойчивость сооружений, зданий, дорог, трубопроводов, целых комплексов сооружений, городов, разрушают их, вызывая катастрофы с человеческими жертвами. По данным Р. Шустера, оползни приносят значительно больший суммарный ущерб, чем наводнения, ураганы, извержения вулканов и землетрясения. Все это приводит к необходимости постоянно производить мелиоративные работы по улучшению таких территорий и строить разнообразные противооползневые сооружения. [3]

Оползневой процесс может возникнуть под воздействием сил, оказывающих даже незначительное влияние на устойчивость грунтовых масс, слагающих оползневой склон. Даже незначительные побудительные причины, такие как обводнение грунта, в результате дождей или сотрясение грунта от проезжающей автотехники могут вызвать процесс движения оползневых масс. Вследствие этого, происходят изменения в структуре грунта и его состоянии, способствующие началу процесса потери его устойчивости. Оползень может формироваться на протяжении длительного периода времени. Иногда процесс потери устойчивости незаметен, иногда затихает и прекращается вообще, но это не значит, что под воздействием каких либо природных или техногенных факторов он не будет возобновлен и не приведет к катастрофическим последствиям.

Для минимизации рисков потери устойчивости грунтовых масс, слагающих оползневой склон, важно еще на стадии проектирования инженерных сооружений, в составе комплексных изысканий изучить строение и физико-механические свойства грунтов, с целью прогноза развития оползневых процессов.

Причины образования оползней

Оползневое смещение масс горных пород происходит под воздействием силы тяжести. Предельное равновесие масс горных пород будет нарушено, когда результирующая сдвигающих сил внутри склона или откоса превысит результирующую удерживающих. Наиболее частые причины вызывающие нарушение равновесия на склонах или откосах носят как техногенный, так и природный характер:

- увеличение крутизны склона или откоса при их подрезке, подработке или подмыве, а также при увеличении высоты откосов;
- ослабление прочности пород из-за изменения их физического состояния вследствие их увлажнения, выветривания, оттаивания и др.;

- действие гидростатических и гидродинамических сил, обуславливающих взвешивающий эффект и развивающие фильтрационные деформации;
- пригрузка верхней части или разгрузка нижней части склонов или откосов, микросейсмические и сейсмические колебания.

Обобщенная классификация оползней

Оползни могут классифицироваться по различным параметрам: по размерам, динамике оползневого процесса, строению, причинам образования, условиям возникновения и развития и др. В связи с огромным количеством рассматриваемых признаков и сложностью оползневых явлений, классификаций оползней предложено очень много. Одни из них очень детальные, стараются охватить всевозможные признаки, другие менее детальны, т.к. отражают, по мнению авторов, наиболее важные признаки оползней и свойства пород слагающих их.

Ф.П. Саваренский предложил классификацию оползневых явлений, в основе которых лежат вид, способ, особенности движения масс горных пород, их состояние, причины нарушения равновесия, и динамика явления. [5]

Согласно Ф.П. Саваренскому оползни разделяются по видам: структурные, пластические, структурно-пластические. В свою очередь структурные оползни разделяют на асеквентные, консеквентные и инсеквентные (Рисунок 1).

Асеквентные - оползни в однородных неслоистых породах (глины, суглинки, супеси). Поверхность скольжения вогнутая близкая к круглоцилиндрической. Массы горных пород сползают в виде блока. Поверхность скольжения устанавливается по плоскости трещины отрыва. Наиболее вероятная поверхность скольжения – та, по которой коэффициент устойчивости оползня имеет *наименьшую* величину. Подошва приурочена к основанию склона.

Консеквентные - образуются в неоднородных, трещиноватых породах. Поверхность скольжения предопределена строением откоса. Сползание в виде блока или вязкой жидкости. Форма поверхности скольжения плоская, плоско-волнистая. Такие оползни имеют самое широкое распространение.

Инсеквентные - расположены вкрест простираения пород. Поверхность скольжения пересекается и врезается в слой.

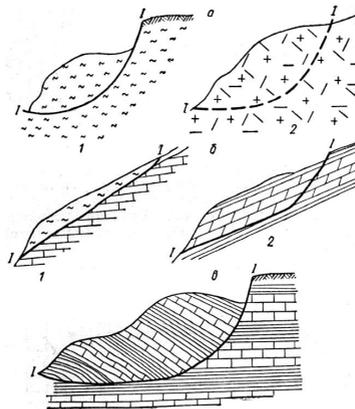


Рисунок. 1. Схемы характерных типов строения оползней [3]

а – асеквентный: 1 – в однородных глинистых породах, 2 – в трещиноватых твердых породах; б – консеквентный: 1 – делювия по коренным породам, 2 – в моноклиально-наклонных слоистых породах; в – инсеквентный. [3]

Пластические оползни – всегда консеквентные. Их можно разделить на:

- собственно оползни – движение масс по поверхности скольжения расположенной ниже поверхностных слоев;
- оползни потоки (сплывы) – движение масс по ложбинам;
- солифлюкционные подвижки – медленное течение поверхностных горных пород и почвенного слоя.

Структурно-пластические оползни представляют собой скольжение блоков горных пород, которые при движении разрушаются и превращаются в массу подобно вязкой жидкости.

Кроме такой классификации оползневые явления классифицируют по их динамике: активные, временно стабилизировавшиеся, стабилизировавшиеся, полностью стабилизировавшиеся, древние; и по размерам.

Методы оценки оползневой опасности

Для проведения оценки оползневой опасности требуется решение ряда вопросов относительно строения склона, условий залегания отдельных слоев и толщ горных пород, состояния и свойств коренных и перекрывающих их более молодых пород, режима подземных вод. Эти вопросы необходимо решить с учетом таких факторов как климат и гидрогеологические условия, история развития оползня, инженерная деятельность человека.

К традиционным методам оценки оползневой опасности относятся инженерно-геологические методы. Каждый оползень имеет определенную подвижность, которая зависит от состояния равновесия слагающих его пород и проявляется в рельефе оползневого участка, в изменении его внутреннего строения и нарушении устойчивости

местности и сооружений. Таким образом, инженерно-геологические методы оценки оползневой опасности основываются на изучении:

1. морфологии;
2. строения (структуры оползня);
3. обводнённости и физико-механических свойств пород слагающих оползень;
4. сопутствующих геологических процессов и явлений;
5. динамики развития оползневых явлений;
6. соотношения усилий (сдвигающих и удерживающих), определяющих равновесие масс горных пород слагающих оползень.

При использовании позиций, основанных на геологическом описании, для оценки устойчивости оползней следует учитывать, что в отличие от стабилизировавшихся оползней, активные оползни, как правило, имеют свежие следы движения, которые проявляются резкими очертаниями рельефа (выступы, уступы, валы, дерновый покров разорван, наблюдаются многочисленные водопровяления). Анализ структуры таких оползней указывает на неблагоприятно ориентированные поверхности и зоны ослабления.

Изучение закономерностей изменения величины и скорости смещения оползня (динамики) является эффективным методом оценки. С целью проведения таких исследований, на оползневом участке устанавливают сеть реперов (маркеров) по которым ведут наблюдения за изменением их высотного и пространственного положения. Такие наблюдения указывают на тенденцию развития или затухания оползневой поверхности. Они позволяют судить о скорости, равномерности и масштабах смещения всего оползня или его частей. Сопоставляя динамику развития оползня с различными факторами (естественными и искусственными), воздействующими на оползневой участок, можно составить заключение об его устойчивости.

Окончательная и основная инженерно-геологическая оценка устойчивости оползня основывается на изучении равновесия масс горных пород. Такая оценка основывается на методах расчета устойчивости оползня. Расчетные методы применяют на стадии детального изучения оползней и обязательно в комплексе с методами геологического описания и изучения динамики их развития. Основой расчета устойчивости оползней является соотношение сдвигающих и удерживающих усилий, действующих на склон или откос. Это соотношение называют коэффициентом устойчивости оползня η .

$$\eta = \frac{\sum \text{удерж.}}{\sum \text{сдвиг}}, \quad (1.1)$$

$\sum \text{удерж.}$ – сумма сопротивлений сдвигу пород по существующей или намечаемой поверхности скольжения;

$\sum \text{сдвиг.}$ – сумма сдвигающих усилий по этой же поверхности.

Для выполнения расчета устойчивости оползня необходимы следующие данные [3]:

1. Детальный геологический разрез по оси оползня, отражающий структуру оползня с установленными или предполагаемыми поверхностями скольжения, условия залегания водоносных горизонтов. На геологическом разрезе необходимо детально отразить рельеф, особенно в местах выхода поверхности скольжения на дневную поверхность.

2. Обоснованные расчетные данные, характеризующие плотность горных пород, слагающих оползень; физико-механические свойства пород, определяющие сопротивление их сдвигу по установленным или предполагаемым поверхностям или зонам скольжения; величину градиентов напора подземных вод.

3. Динамика развития и режимы существования оползня в моменты наиболее неблагоприятной ситуации для его устойчивости.

4. Метод расчета, приемлемый для конкретных геологических условий рассматриваемого оползневого участка. Метод расчета определяется, прежде всего, формой выявленной или намечаемой поверхности скольжения.

Как правило, для расчета устойчивости оползня применяют два основных метода:

1. для оползней имеющих наклонную поверхность скольжения;
2. для оползней имеющих вогнутую (условно круглоцилиндрическую) поверхность скольжения.

Первый метод применим для оползней с плоской, плоскоступенчатой или волнистой наклонной поверхности скольжения.

Второй – применим для оползней имеющих вогнутую, плавновогнутую, условно круглоцилиндрическую поверхность скольжения.

Таким образом, для выполнения оценки оползневой опасности в первую очередь требуется, определится структуру оползня (определить расположение его основных структурных элементов) с установленными или предполагаемыми поверхностями скольжения. Поиск наиболее опасной поверхности скольжения имеет две цели: определения ее морфологии и пространственного положения в присклоновом массиве. Первая задача решается геологическими прогнозами на базе детального анализа геологического строения, тектонической обстановки, свойств горных пород, рельефа склона, морфологии оползней, проявившейся ранее на данном склоне или в аналогичных условиях.

Поиск реально существующей поверхности скольжения на объекте осуществляется при проведении инженерно-геологической съемки с детальной документацией всех нарушений поверхности склона трещинами, бурением скважин, с применением зондирования, заложением поверхностных и глубинных реперов, тщательным изучением кернового материала и свойств горных пород. Основными признаками поверхностей скольжения являются субпараллельные склону трещины отрыва в верхней его части и вал выпирания в нижней части склона или в реке. Соединение этих трещин плавной кривой дает возможность наметить дальнейший поиск фактической поверхности скольжения скважинами, пробуренными по перпендикулярному к наблюдаемым трещинам профилю. Применяется опробование для поиска зеркал скольжения, трещин и перемятостей с изучением свойств пород, заложением поверхностных и глубинных реперов для последующих наблюдений.[2]

Охарактеризовать структуру оползня с выделением зон ослабления, приуроченных к основным элементам оползня, возможно и с помощью геофизических методов, т.к. их применение открывает дополнительные возможности. Они позволяют обследовать большие площади при детальности наблюдений, недоступной для методов инженерно-геологических изысканий. Кроме того, анализ изменения физико-механических и водно-

физических свойств грунтов выполняется не по единичным образцам, а по измерениям, охватывающим значительные объемы пород, непосредственно вовлеченных в процесс оползнеобразования. В последнее время, благодаря развитию томографических технологий, появились предпосылки для более детального и всестороннего изучения оползневых структур с помощью геофизических методов. Применение томографических технологий инженерной геофизики для изучения оползней будет рассмотрено в параграфе «Изучение структуры оползня с помощью наземных геофизических методов».

Определение наиболее вероятной расчетной круглоцилиндрической поверхности скольжения оползня

Определение наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения ведется разными способами, которые можно разделить на две группы [2]:

1. Поиск методом проб и ошибок при расчете коэффициента устойчивости алгебраическим суммированием по большому количеству поверхностей, проведенных в склоновом массиве из разных центров. Минимальное значение коэффициентов устойчивости соответствует наиболее вероятной поверхности скольжения. Число центров может быть различным в зависимости от геологических условий, стадии проектирования, ответственности сооружения и составлять от 5-10 до 100 и более. При этом все прочие условия и параметры откоса остаются постоянными.
2. Построение наиболее вероятной поверхности скольжения из теоретических соображений, при этом ее положение для каждого конкретного объекта считается постоянным и соответствует минимальному значению коэффициента устойчивости.

Рассмотрим пример из первой группы [2]. На плоскости XOZ в удобном масштабе, одинаковом для двух осей, строится профиль склона с параметрами h и α . Через середину откоса C (Рисунок 2) проводится вертикаль, а из верхней бровки откоса (точка A) проводится прямая под углом $\beta=36^\circ$ к горизонту до пересечения с проведенной вертикалью в точке O_1 , которая принимается в качестве первого центра потенциальной дуги скольжения.

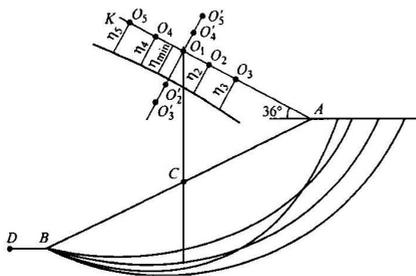


Рисунок 2. Положение поверхностей скольжения и их центров [2]

Из этого центра проводится первая дуга, выходящая через нижнюю бровку откоса (точка В), а в случае слабого основания ($\varphi < 14^\circ$ и $\alpha < (45^\circ - \varphi/2)$) – через точку D. Ограниченное оползневое тело разбивается на расчетные блоки, и методом алгебраического суммирования определяется первый коэффициент устойчивости η_1 исследуемого профиля. Далее на прямой АК, проходящей через первый центр, намечается еще четыре центра, по два слева и справа от точки O_1 , при этом расстояние между центрами составляет $0,3h$. Из новых центров проводится еще четыре дуги, и для них рассчитывают коэффициенты устойчивости. Для определения минимального значения этого коэффициента строят в произвольном масштабе эпюру по пяти отрезкам, соответствующим пяти наименьшим значениям η , и по ней определяют η_{\min} . Если среда является однородной и не имеет слабого основания, то значение η_{\min} характеризует устойчивость данного склона. В более сложных случаях неоднородного геологического строения, слабого основания, большой высоты или ответственного сооружения производится проверка по другим поверхностям скольжения с учетом угла внутреннего трения, угла наклона откоса и др. Один из вариантов проверки сводится к построению еще четырех поверхностей скольжения из центров, расположенных на перпендикулярах к линии, соединяющей предыдущие центры. Другой вариант проверки является более трудоемким и требует определений по большому количеству центров, образующих поле точек, по которым можно провести изолинии одинаковых коэффициентов устойчивости и определить самое низкое значение $(\eta_{\min})_{\min}$ (Рисунок 3).

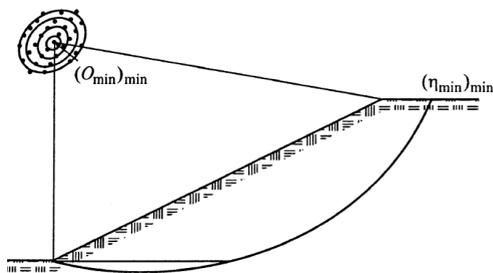


Рисунок 3. Схема к поиску самой опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения [2]

Довольно часто поиск наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности выполняют следующим способом (Рисунок 4). Из нижней и верхней бровки откоса или склона проводят два луча под углами β_1 и β_2 , определяемыми исходя из величины угла падения поверхности склона α . Точка пересечения этих лучей будет являться первым центром дуги скольжения O_1 . Для установления дополнительных центров, в масштабе рассматриваемого профиля находят точку D, через который проводят луч через первый центр O_1 . Далее предельывают операции, описанные выше для нахождения $(\eta_{\min})_{\min}$.

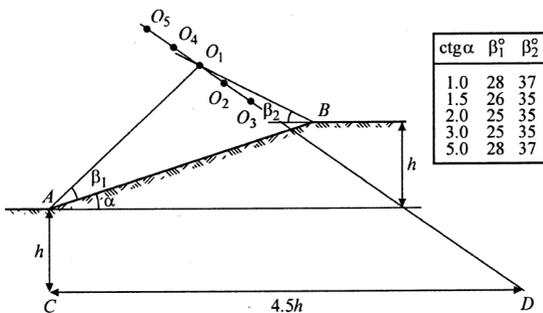


Рисунок 4. Схема к поиску центров круглоцилиндрической поверхности скольжения [2]

Исходя из теоретических соображений, построение наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности можно выполнить следующим способом.

Начальный участок поверхности скольжения, с которого обычно ведется ее поиск в склоновом массиве – трещина отрыва. Трещины отрыва оползня почти вертикальны и могут иметь разную глубину и ширину. Как известно из механики грунтов, эти трещины образуются в результате отрыва и достигают глубины h_{90} , на которой происходит разрушение пород под их собственным весом в условиях одноосного сжатия, т.е. $\gamma h_{90} = R_c$, где γ – удельный вес, R_c – сопротивление одноосному сжатию пород. Отсюда можно определить предельную глубину вертикальной трещины отрыва. Если выразить прочность R_c показателями сопротивления сдвигу пород – сцеплением C и углом внутреннего трения φ – как $R_c = 2C \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$, то тогда $h_{90} = (2C/\gamma) \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$. Таким образом, можно определить глубину трещины отрыва – начального, вертикального участка поверхности скольжения оползня.

Проследим дальнейший процесс формирования поверхности скольжения в часто встречающихся геологических условиях, в которых в верхней части склона залегают породы хрупкого характера разрушения, а в нижней части – пластичные, некомпетентные глины (рисунок 5).

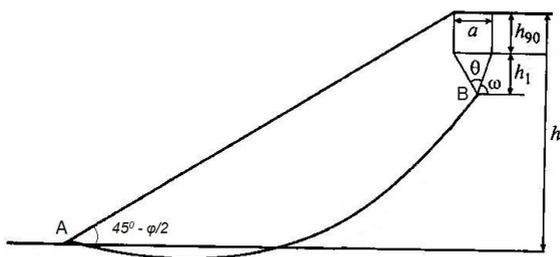


Рисунок 5. Схема формирования поверхности скольжения [2]

Места формирования трещин в откосе или склоне и их появления на дневной поверхности занимают разные положения, что особенно важно в исследованиях

наблюдениях оползневых деформаций в неоднородной слоистой среде. Ограничим зону появления первых трещин в компетентных слоях призмой, в пределах которой породы испытывают давление от вышележащих пород, равное их сопротивлению одноосному сжатию. В связи с этим, как уже было сказано, верхней границей данной зоны является отметка h_{90} . В результате образования трещин в компетентных слоях в пределах h_{90} произойдет образование вертикальной трещины, которая ограничит ширину a оползневой призмы на поверхности.

Существует формула для определения ширины обрушения a :

$$a = \frac{2h \left[1 - ctg\alpha \operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi}{2} \right] - 2h_{90}}{ctg(45^\circ - \varphi/2) + \operatorname{tg} \frac{\alpha + \varphi}{2}}$$

Нижняя граница простирается до отметки, на которую опирается треугольная призма с углом $\theta = 90^\circ - \varphi$. Глубина от поверхности нижней границы составит величину:

$$h_1 = h_{90} + (a/2) \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) = (a + C/\gamma) \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2).$$

Трещины в этой зоне в соответствии с теорией предельного равновесия сыпучей среды залегают в виде двух систем под углом к горизонту $\omega = 45^\circ + \varphi/2$.

Дальнейшее развитие процесса происходит с большей скоростью, так как в результате образования открытой вертикальной трещины в пределах исчезает общее сопротивление сдвигу, а на участке треугольной призмы остается только трение по сформировавшейся плоскости под углом $\omega = 45^\circ + \varphi/2$.

В соответствии с теорией сыпучей среды элементарные площадки скольжения возникают в однородном массиве горных пород в результате сжатия при напряжениях $\sigma \geq 2C \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$, где C и φ – показатели сопротивления сдвигу горных пород, и располагаются под углом $\omega = 45^\circ - \varphi/2$ к направлению большего главного напряжения. Последнее вдали от откоса направлено вертикально вниз, а с приближением к откосной поверхности меняет свое направление, выполаживаясь, и у самого откоса направление наибольшего главного напряжения совпадает с откосной поверхностью. Следовательно, поверхность разрушения пройдет через нижнюю бровку откоса (точка А на рисунке 3) под углом $45^\circ - \varphi/2$ к откосу. Между точкой А и точкой В, поверхность скольжения можно принимать круглоцилиндрической или плавной криволинейной.

В итоге поверхность скольжения состоит из трех частей: круглоцилиндрической формы на участке АВ, плоскости под углом $\omega = 45^\circ + \varphi/2$ и вертикальной плоскости отрыва в пределах величины h_{90} .

Изучение структуры оползня с помощью наземных геофизических методов

Изучение оползневых явлений – один из самых ответственных и сложных видов инженерно-геологических исследований. Поэтому отнюдь не случаен возросший в

последние годы интерес к широкому привлечению для этой цели геофизических методов. [4]

Одно из основных направлений инженерной геофизики в части изучения процесса оползнеобразования, основные положения, которого заложены А.А. Огильви, предполагает изучение гидрогеологических условий. Он полагал, что существенное влияние на развитие оползневой процесс оказывает фактор гидрогеологических условий.

На развитие оползней всех типов значительное влияние оказывает увлажнение пород оползневой массива. При этом, наибольшую долю в увлажнении пород вносят подземные воды (грунтовые, межпластовые, трещинные). «Оползневое тело питается, в основном, за счет подземных вод, поступающих из коренных пород. Оползневой цирк дренирует прорезанные им водоносные горизонты, осушая окружающие неподвижные участки склона. В теле оползня могут наблюдаться как единые водоносные горизонты, так и разрозненные потоки подземных вод, движущиеся на разных уровнях, сложно переплетающиеся или почти не связанные между собой, изолированные «мешки» застойных вод и т.п. Подземные воды оказывают значительное влияние на устойчивость склона, а следовательно, и на весь оползневой процесс» [4].

Зависимость электрических характеристик пород от состава, структуры и водно-физических свойств является основой для изучения гидрогеологических условий оползневых участков с помощью методов электроразведки. За счет различия водно-физических свойств пород, переход от ненарушенной части склона к нарушенному массиву сопровождается изменением удельного электрического сопротивления. Это обстоятельство явилось предпосылкой применения электроразведки для определения внешних границ оползня.

Анализ материалов электроразведки методом сопротивлений позволяет охарактеризовать породы с различным литологическим составом, а также выделять зоны ослабления в теле оползня, характеризующиеся изменением влажности пород.

Другое направление инженерной геофизики в части изучения процесса оползнеобразования связано с изучением напряженного состояния и физико-механических свойств пород оползневой массива. Состояние оползневой массива определяется:

- физико-механическими характеристиками горных пород;
- параметрами напряженного состояния.

Напряженное состояние горных пород, составляющих оползень, вызывает изменение их структуры (появление микротрещин) и изменение физико-механических свойств пород. В работах этого направления особенно большое значение приобретают сейсмические методы.

При изучении оползня неизменно возникает необходимость выяснения деталей его строения, при этом особенно важное значение имеет выделение зоны скольжения. Нужно иметь в виду, что для оползневых массивов характерно самое разнообразное сочетание в той или иной мере контрастных разноориентированных границ раздела с постепенным

градиентным изменением физических свойств. Не меньшее значение имеет исследование обводненности оползневого тела, определение водно-физических и физико-механических свойств слагающих его грунтов, их напряженного состояния, а также получение сведений о направлении и скорости их перемещения.[4]

Важнейшей особенностью оползневого массива является наличие поверхности или зоны скольжения. В зоне скольжения естественная структура горных пород претерпевает наибольшее изменение, изменяется минералогический состав, влажность и минерализация поровой влаги. Эти изменения касаются всех петрофизических параметров. Наиболее существенно это отражается в увеличении электропроводности пород слагающих зону скольжения, уменьшении скоростей продольных и поперечных волн и увеличении коэффициентов их поглощения.

Грунты, слагающие основную массу оползня, подвергаются интенсивным изменениям. При смещении по склону они механически разрушаются, их сопротивление сдвигу уменьшается, они становятся менее устойчивыми. Кроме этого, оползневое тело отличается анизотропией всех физических параметров.

Согласно А.А. Огильви, все оползни сводятся, в основном, к структурным и пластическим.

Структурные оползни характеризуются сползанием блоков горных пород по ослабленным контактам между наклонно залегающими геологическими телами. Важной особенностью этого типа оползней является контрастная граница раздела между смещающимися породами и породами в коренном залегании.

Для пластических оползней характерно смещение масс горных пород в однородном массиве по поверхности скольжения, близкой по форме к круглоцилиндрической. Такие оползни, сформированные, как правило, массивами глинистых пород, являются наиболее сложными для инженерно-геологического и геофизического изучения, так как дифференциация глинистых пород по их свойствам в пределах оползней и в ненарушенных геологических разрезах недостаточно четко выражена. В то же время, пластические оползни также обладают определенной структурой, изучение которой необходимо для правильной оценки устойчивости склонов.

Породы, слагающие пластические оползни, отличаются обычно пониженными электрическими сопротивлениями ($\rho=5-60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Наиболее вероятное распределение основных петрофизических параметров по вертикали приведено на рисунке 6. Специфическими особенностями характеризуется *приповерхностный слой*, который отличается очень низкими значениями скоростей распространения сейсмических волн.

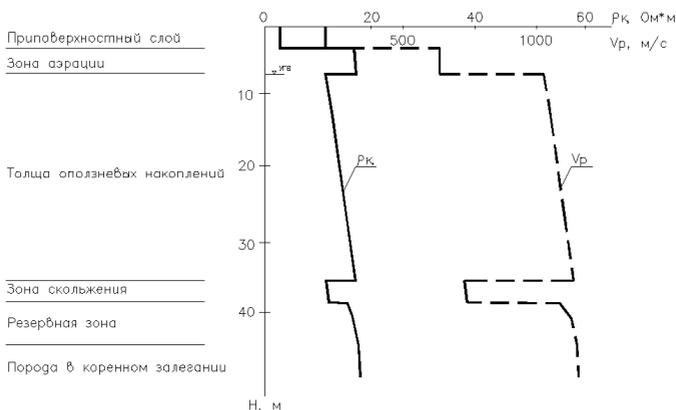


Рисунок 6. Синтетические графики кажущихся удельных электрических сопротивлений ρ_k и скорости распространения сейсмических продольных волн V_p в толще пластического оползня [4]

Его электрическое сопротивление может изменяться от первых единиц до первых сотен Ом·м в засушливое время года. В *зоне аэрации* значения электрических сопротивлений пород превышают сопротивление пород за пределами оползня. Скорости упругих волн понижены и не превышают 2/3 от скоростей тех же пород в коренном залегании. В оползневых толщах большой мощности, за счет снижения пористости и трещиноватости, создается эффект увеличения скоростей сейсмических волн и сопротивлений горных пород. В *зоне скольжения* отмечается резкое изменение петрофизических параметров, степень этого изменения зависит от уровня деформации и переработки горных пород. Согласно исследованиям А.А. Огилви и других авторов, непосредственно под зоной в процесс смещения. В пределах этой зоны параметры сопротивления и скорости скольжения располагается «резервная зона», которая потенциально может быть вовлечена имеют промежуточное значение.

До настоящего времени, ведущими геофизическими методами исследований оползней являлись методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и метод преломленных волн (МПВ). Эти методы предназначены для изучения субгоризонтальных геологических границ, так как базируются на 1D подходах к интерпретации, и потому их применение не может в полной мере обеспечить решение задач, связанных с изучением строения неоднородных оползневых тел.

В последнее время, благодаря развитию современных томографических технологий инженерной геофизики, для изучения оползней широко применяется 2D электро- и сейсмотомография, позволяющая получить наиболее представительную информацию об их неоднородной структуре. Благодаря специальной технологии сбора и обработки извлекаемой геофизической информации, электро- и сейсмотомографические технологии позволяют изучать неоднородную структуру оползней с высокой степенью детальности.

Электротомографические (ЭТ) разрезы характеризуют 2D распределение величины удельных электрических сопротивлений грунтов (УЭС), отражающее неоднородную структуру оползня, обусловленную изменениями состава и состояния грунтов. (Рисунок 7)

Следует отметить, что наибольшее влияние на значения удельного электрического сопротивления глинистых пород оказывает их влажность. Как известно, с увеличением влажности глинистых пород значения УЭС уменьшаются. Этот факт имеет огромное значение при изучении оползней, т.к. глинистые породы, обладающие повышенной влажностью, являются более слабыми. Таким образом, области пониженных значений УЭС глинистых пород оползневого массива являются зонами ослабления.

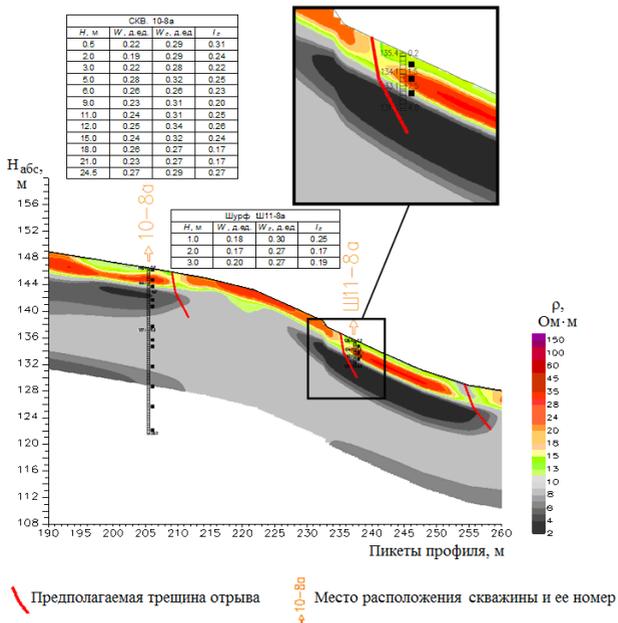


Рисунок 7. Фрагмент электротомографического разреза оползневого склона.

Буквенные обозначения: $H_{абс}$ - абсолютная высота; ρ - удельное электрическое сопротивление; H - глубина отбора проб; W - естественная влажность грунта; W_p - влажность на границе раскатывания; I_p - число пластичности

Особое значение для изучения структуры оползневого склона имеет расположение оползневых трещин. Как видно из представленного ЭТ разреза, его приповерхностная часть, характеризующаяся повышенными значениями удельного электрического сопротивления, разбита субвертикальными линейными низкоомными зонами, нарушающими непрерывность приповерхностных слоев. Эти зоны соответствуют локальным повышениям влажности и связаны с трещинами отрыва. Таким образом, метод ЭТ позволяет детально отобразить литологию и неоднородную структуру оползня. Кроме того ЭТ позволяет оценить изменение влажности пород, то есть на качественном уровне определить зоны ослабления в оползневом массиве.

Согласно ранее выполненным исследованиям, распределение скоростей поперечных волн V_s в глинистых породах, в той или иной степени, характеризует прочность структурных связей. Механически разрушенные (дизинтегрированные) глинистые породы оползневых массивов будут характеризоваться пониженными значениями V_s . Как правило,

глинистые породы, характеризующиеся повышенной степенью дезинтеграции, приурочены к таким важным структурным элементам, как оползневые трещины (трещины отрыва) и поверхность скольжения оползня. Породы оползневого тела также характеризуются повышенной дезинтеграцией. Таким образом, анализ распределения скоростей поперечных волн на сейсмотомаграфических разрезах позволяет выделить области глинистых пород, характеризующиеся разрушенными структурными связями, приуроченные к основным элементам оползня. Сделанные утверждения подтверждаются данными полевых сейсмотомаграфических исследований (рисунок 8). Следует обратить внимание на локальную область пониженных значений скорости поперечных волн в районе пикета 80 м. На увеличенном фрагменте видно, что на глубине 9 м эту область сечет скважина № 6-8. В этой скважине на глубине 9 м было зафиксировано значительное снижение удельного сцепления и угла внутреннего трения глинистых грунтов.

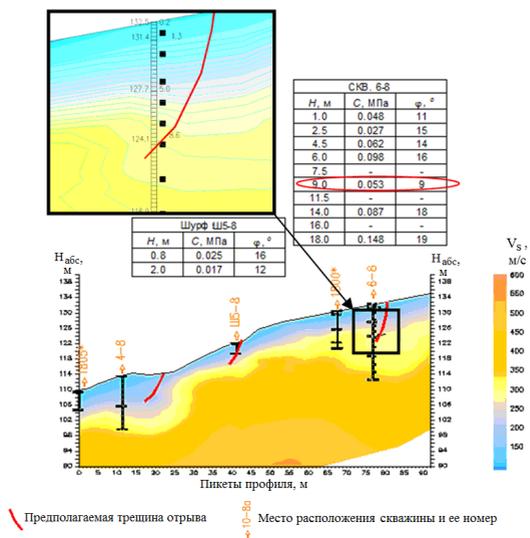
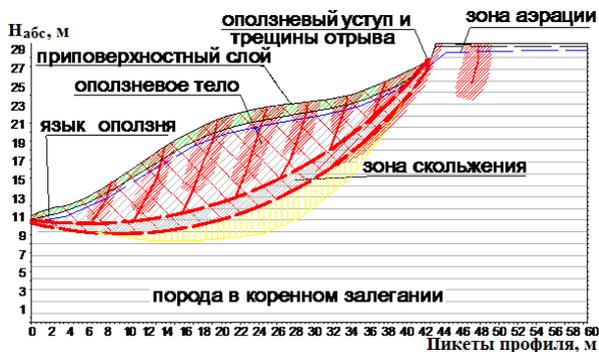


Рисунок 8. Фрагмент сейсмотомаграфического разреза оползневого склона. Буквенные обозначения: $H_{\text{абс}}$ - абсолютная высота; V_s - скорость поперечных волн; H - глубина отбора проб; C - удельное сцепление; ϕ - угол внутреннего трения.

Таким образом, представленные примеры ЭТ и СТ разрезов демонстрируют возможности томографических технологий для изучения неоднородной структуры оползневых массивов и локализации в них ослабленных зон, характеризующихся повышенной влажностью и пониженными значениями прочностных характеристик глинистых грунтов. Кроме того, вследствие структурной неоднородности оползневого тела и механического разрушения грунтов, методы ЭТ и СТ позволяют выделить на 2D разрезах тело оползня, ограниченное в нижней его части поверхностью скольжения.

Для интерпретации материалов геофизических исследований оползневых склонов, например 2D электрической и сейсмической томографии, с целью изучения их структуры

и выделения зон ослабления в оползневом массиве, приуроченных к областям формирования основных структурных элементов оползня можно воспользоваться базовой сейсмогеоэлектрической моделью пластического оползня, изображенной на рисунке 9. [1]



Условные обозначения

-  Механически разрушенные породы, слагающие основную массу оползня с оползневыми трещинами, характеризуются пониженными значениями V_s , V_p , Q_s , а также повышенными значениями V_s/V_p
-  Породы приповерхностной части оползня, вследствие процессов выветривания характеризуются более низкими значениями V_s , V_p , Q_s , а также более высокими значениями V_s/V_p и широким диапазоном ρ
-  Зоны расположения оползневых трещин и поверхности скольжения, характеризуются пониженными значениями V_s и ρ , обусловленными уменьшением величин удельного сцепления C и повышением влажности глинистых пород W
-  "Резервная зона" выделенная по данным СТ, характеризующаяся значительными изменениями сейсмических свойств глинистых пород, но располагающаяся ниже предполагаемой поверхности скольжения

Рисунок 9. Обобщенная сейсмогеоэлектрическая модель пластического оползня [1]

Основным структурным элементом оползня является поверхность скольжения, берущая свое начало от трещины отрыва. Этот элемент оползня обладает наиболее контрастными и ярко выраженными геоэлектрическими и сейсмическими свойствами. В то же время, при достаточно больших размерах в плане, зона поверхности скольжения характеризуется незначительной мощностью. Именно это обстоятельство вызывает наибольшие споры о возможности ее выделения с помощью наземных инженерно-геофизических методов.

Как показывают выполненные исследования, практически выделить поверхность скольжения на ЭТ и СТ разрезах возможно только в приповерхностной ее части – трещине отрыва. Оползневые трещины уверенно выделяются с помощью комплекса 2D геотомографии. Они проявляются на электротомографических и скоростных сейсмотомографических разрезах поперечных волн V_s , как локальные субвертикальные области пониженных значений УЭС и V_s , обусловленные локальным увеличением влажности и уменьшением величины прочности глинистых пород в зоне трещин отрыва. Как показывают экспериментальные геотомографические исследования, в районе

расположения трещин отрыва значения УЭС могут уменьшиться в два раза, по сравнению с ненарушенной частью, а значения V_s могут уменьшиться на величину до 30%.

Несмотря на то, что поверхность скольжения на ЭТ и СТ разрезах выражена очень слабо, ее расположение можно определить по косвенным признакам, путем выделения контура оползневого тела, ограниченного поверхностью скольжения.

Породы, слагающие оползневое тело, как правило, механически разрушены. В связи с наличием многочисленных зон сжатия и растяжения, трещин и разрывных нарушений, они характеризуются широким диапазоном изменения геоэлектрических и сейсмических свойств. Приповерхностный слой тела оползня, обладает более высокими, чем подстилающие его породы, значениями величин УЭС, также он характеризуется аномально низкими значениями скоростей распространения сейсмических волн. Структура оползневого тела – неоднородна, непрерывность слоев глинистых пород часто нарушена оползневыми трещинами. По этой отличительной характеристике, оползневое тело хорошо выделяется, с помощью метода электрической томографии, на фоне пород незатронутых оползневым смещением.

Вследствие механического разрушения пород оползневого тела и частичной потери ими физико-механических свойств C и φ , тело оползня наилучшим образом выделяется на 2D томографических разрезах по уменьшению величин распространения скоростей поперечных волн V_s . Величина V_s в теле оползня может достигать 1/2, от той же величины, в породах незатронутых смещением.

Методы расчета устойчивости оползней

Существует достаточно много методов расчета устойчивости масс горных пород на склонах и откосах и в том числе методов расчета устойчивости оползней. Подробно эти методы изложены в литературе [2, 3]. Выбор метода расчета устойчивости оползня определяется:

1. Строением или структурой оползня, формой выявленной или намечаемой поверхности скольжения;
2. Возможностью учета всех силовых воздействий на оползень, определяющих степень его устойчивости – состояние равновесия масс горных пород, постоянные или временные нагрузки, гидродинамическое давление, гидростатическое взвешивание, ускорение свободного падения при сейсмических колебаниях и др;
3. Удобством практического применения при минимальном числе вычислений, графических построений и др.

Как показывает практика, для расчета устойчивости оползней наиболее часто применяют два основных метода:

1. Для оползней, имеющих наклонную поверхность скольжения;
2. Для оползней, имеющих вогнутую поверхность скольжения – условно круглоцилиндрическую.

Метод расчета устойчивости оползней, имеющих наклонную поверхность скольжения [3]

Этот метод применим для оползней консеквентного типа с плоской, плоско-ступенчатой или волнистой наклонной поверхностью скольжения. Расчетная схема таких оползней показана на рисунке 10а. Условия равновесия оползня по плоскости скольжения $I-I$ будут определяться уравнением:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi + CL,$$

где T – составляющая силы тяжести (общего веса пород (P), слагающих оползень), стремящаяся сдвинуть оползень, $T = P \sin \alpha$; N – составляющая силы тяжести, стремящаяся удержать оползень, $N = P \cos \alpha$; $\operatorname{tg} \varphi = f$ – коэффициент внутреннего трения пород в зоне скольжения; C – сцепление пород в зоне скольжения; L – длина поверхности скольжения $I-I$; α – угол наклона поверхности скольжения.

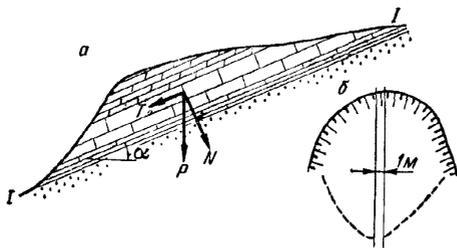


Рисунок 10. Расчетная схема оползня с наклонной с наклонной плоской поверхностью скольжения: а – расчетный геологический разрез; б – план оползневого участка [3]

Расчет ведут не для всего объема оползня, а для массива грунтов, единичной ширины (например, шириной 1 м), выделяемого по линии геологического разреза (рисунок 10б). На геологическом разрезе определяют площадь S и объем оползневого массива $V=S \cdot l$. Затем определяют его вес:

$$P = V\gamma, \text{ где } \gamma - \text{ расчетная плотность грунтов оползневого массива.}$$

Определив величины составляющих сил T и N и составив уравнение равновесия, определяют коэффициент запаса устойчивости склона или откоса:

$$\eta = \frac{N \operatorname{tg} \varphi + CL}{T}$$

Расчет устойчивости оползня усложняется, если поверхность скольжения имеет плоско-ступенчатую форму, т.е. имеет неоднородный наклон. Примерная расчетная схема таких оползней показана на рисунке 11.

Смещение пород оползневого тела происходит по круглоцилиндрической поверхности скольжения в виде вращения под действием сдвигающего момента:

$$M_{сд} = \sum_1^n a_i P_i,$$

где P_i – вес одного блока;

$a = r \sin\theta$ – расстояние между вертикалями, проходящими через точки O_1 и P_i ;

θ – угол между вертикалью и радиусом r , проходящим через точку приложения силы P_i ;
 n – число расчетных блоков.

Предполагается, что породы оползневого тела однородны. В плоскости чертежа поверхность скольжения представляет собой часть окружности, проведённой из центра O_1 или O_2 и выходящей через нижнюю бровку склона или на некотором расстоянии от нее, если породы слабые ($\varphi < 14^\circ$) и угол склона $\alpha < (45^\circ - \varphi/2)$.

Моменту сдвига противодействует удерживающий породы момент:

$$M_{уд} = r \left(\sum_1^n F_i + CL \right),$$

где F – сила трения по поверхности скольжения;

C – удельное сцепление;

L – длина дуги радиуса r .

$F_i = N_i f = P_i \cos\theta_i \operatorname{tg}\varphi$.

Для условий предельного равновесия $M_{сд} = M_{уд}$ или $\eta = M_{уд} / M_{сд} = 1$, где η – коэффициент устойчивости.

Или

$$\eta = \frac{rf \sum_1^n N_i + rCL}{r \sum_1^n P_i \sin\theta_i} = 1,$$

но $P_i \sin\theta = T_i$, тогда

$$\eta = \frac{f \sum_1^n N_i + CL}{\sum_1^n T_i} = 1.$$

Тема 1: Оценка инженерно-геологических условий строительства газопровода на оползневом склоне долины р. Калабатка

В рамках проведения комплексных инженерно-геологических изысканий в районе п. Садовый Краснодарского края необходимо произвести оценку развития гравитационных процессов на оползнеопасном склоне долины р. Калабатка. В ходе изысканий была произведена геодезическая съемка двух профилей, на которых были пробурены инженерно-геологические скважины с отбором образцов при последующем изучении их свойств в лабораторных условиях, произведена проходка шурфов с последующим проведением в них неконсолированного среза в полевых условиях, а также геофизические исследования (электро- и сейсморазведка) с целью установления более точного положения предполагаемой поверхности ослабления.

Исходя из результатов проведения геодезической съемки и координат скважин на склоне, представленных в табл. 1, необходимо построить профиль склона и инженерно-геологический разрез, используя данные бурения, представленные в табл. 2. Расположение основных структурных элементов оползня: трещин отрыва и поверхности скольжения отстроить по данным геофизических исследований (рисунок 1А и 2А для варианта 1; рисунок 1Б и 2Б для варианта 2). Необходимо рассчитать устойчивость склона, используя физико-механические свойства грунтов при естественной влажности (основной расчетный случай). Также, моделируя изменение свойств грунтов в сезон активного снеготаяния или в результате обводнения, необходимо произвести расчет устойчивости склона, используя физико-механические свойства водонасыщенных грунтов, полученных при сдвиге по смоченной и подготовленной поверхности (особый расчетный случай). Свойства грунтов представлены в табл. 3. В заключении описать влияние обводнения на устойчивость склона и в случае необходимости рекомендовать противооползневые мероприятия.

Таблица 1. Данные геодезической съемки

Вариант 1			Вариант 2		
№ точек	X, м	Y, м	№ точек	X, м	Y, м
ПК 1	0,0	73,9	ПК 1	0,0	73,2
Скв. 10-1	6,2	74,6	ПК 2	14,4	73,0
ПК 2	12,0	75,0	Скв. 11-1	17,5	74,6
ПК 3	25,7	78,6	ПК 3	20,5	76,1
ПК 4	36,1	82,2	Скв. 16	46,2	81,4
Скв. 9-1	40,8	82,5	ПК 4	52,2	82,4
ПК 5	44,1	82,8	ПК 5	72,0	83,8
ПК 6	76,0	91,2	ПК 6	90,2	91,2
Скв. 7-1	85,1	92,6	Скв. 4-1	133,2	100,8
Ш. 5-1	132,9	101,3	ПК 7	156,2	106,5
ПК 7	172,0	109,3	ПК 8	175,1	109,0
Скв. 2-1	184,9	110,3	Скв. 15-1	193,3	109,3
ПК 8	212,0	111,4	ПК 9	234,4	108,2

Таблица 2. Геологические колонки скважин и шурфов (слева направо)

№ скв.	Скв. 10-1							
ИГЭ	е10	е19	е29а	е19	е10	е29а		
Глубина подошвы, м	0,8	2,4	4,0	5,5	9,2	12,0		
№ скв.	Скв. 9-1							
ИГЭ	d19	е29а	е29а					
Глубина подошвы, м	1,8	6,9	10,0					
№ скв.	Скв. 7-1							
ИГЭ	d19	е29						
Глубина подошвы, м	8,0	12,0						
№ скв.	Ш. 5-1							
ИГЭ	d19							
Глубина подошвы, м	3,0							
№ скв.	Скв. 2-1							
ИГЭ	d18	е29а	е10	е19	е29	е10	е19	е29
Глубина подошвы, м	2,5	5,0	8,7	9,8	10,2	10,8	12,0	20,0
№ скв.	Скв. 11-1							
ИГЭ	е10	е19	е29а					
Глубина подошвы, м	1,1	3,4	11,7					
№ скв.	Скв. 16							
ИГЭ	d19							
Глубина подошвы, м	5,0							
№ скв.	Скв. 4-1							
ИГЭ	d18	е29						
Глубина подошвы, м	1,5	12,0						
№ скв.	Скв. 15-1							
ИГЭ	d18	е10	е19	е10				
Глубина подошвы, м	3,3	6,5	9,0	10,0				

Таблица 3. Физико-механические характеристики пород

№ ИГЭ	Описание грунта	Плотность ρ , т/м ³	Удельное сцепление C , кПа	Угол внутреннего трения ϕ , град.
d18	Суглинок тяжелый песчанистый, твердый	<u>1,70</u>	<u>40</u>	<u>15</u>
		1,89	17	12
d19	Суглинок тяжелый пылеватый, твердый	<u>1,80</u>	<u>23</u>	<u>16</u>
		1,92	10	8
e10	Супесь песчанистая, твердая	<u>1,95</u>	<u>131</u>	<u>32</u>
		1,98	9	20
e19	Суглинок тяжелый песчанистый, твердый	<u>1,89</u>	<u>31</u>	<u>15</u>
		2,02	11	12
e29	Глина легкая пылеватая, твердая	<u>1,94</u>	<u>112</u>	<u>16</u>
		1,98	16	10
e29a	Глина легкая пылеватая, полутвердая	<u>1,90</u>	<u>101</u>	<u>15</u>
		1,92	18	9

Примечание: над чертой указаны параметры, полученные при сдвиге образцов естественной влажности, под чертой – при сдвиге по подготовленной смоченной поверхности водонасыщенных образцов.

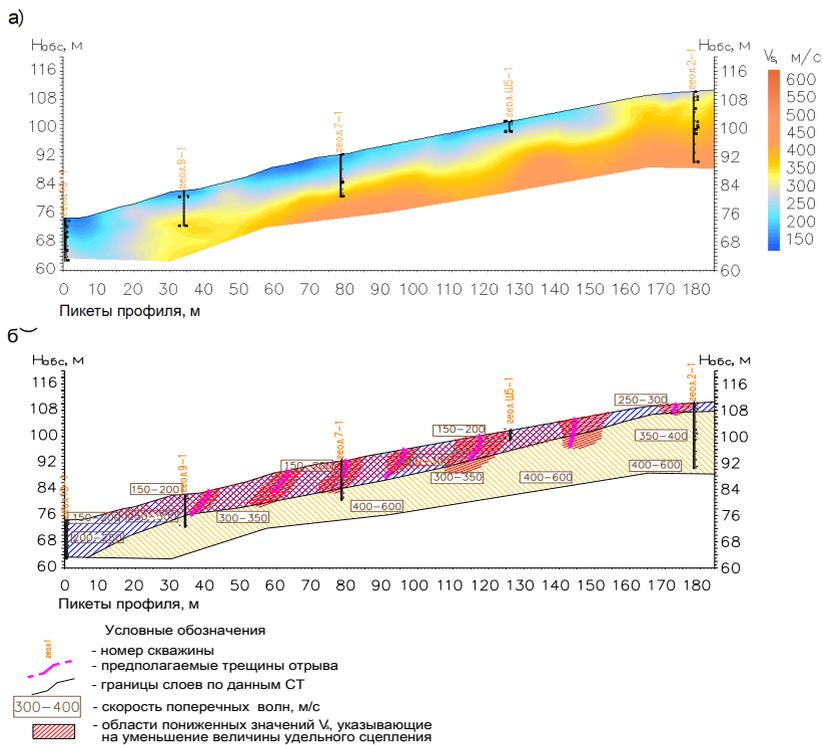


Рисунок 1А. Скоростные сейсмотомографический (а) и сейсмогеологический (б) разрезы поперечных волн V_s оползневого склона

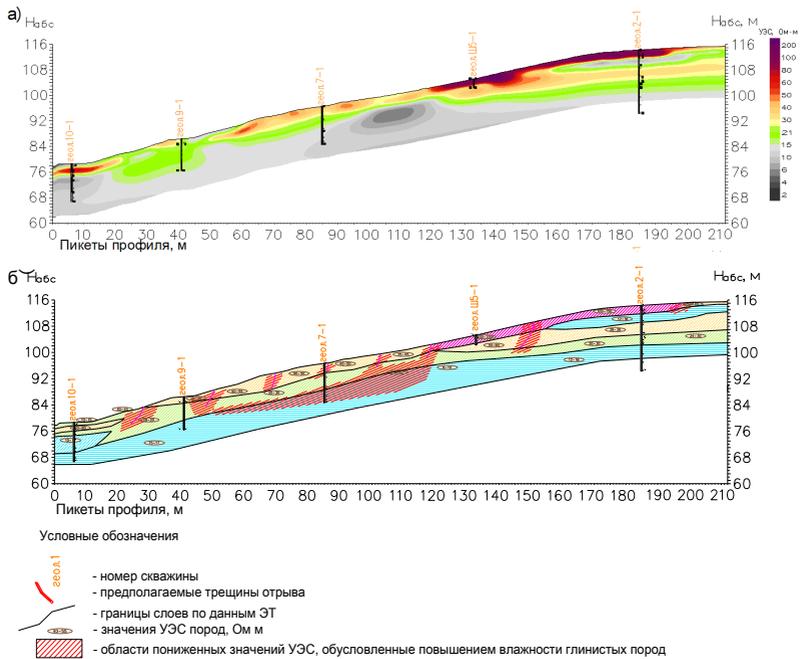


Рисунок 2А. Электротомографический (а) и геоэлектрический (б) разрезы оползневого склона

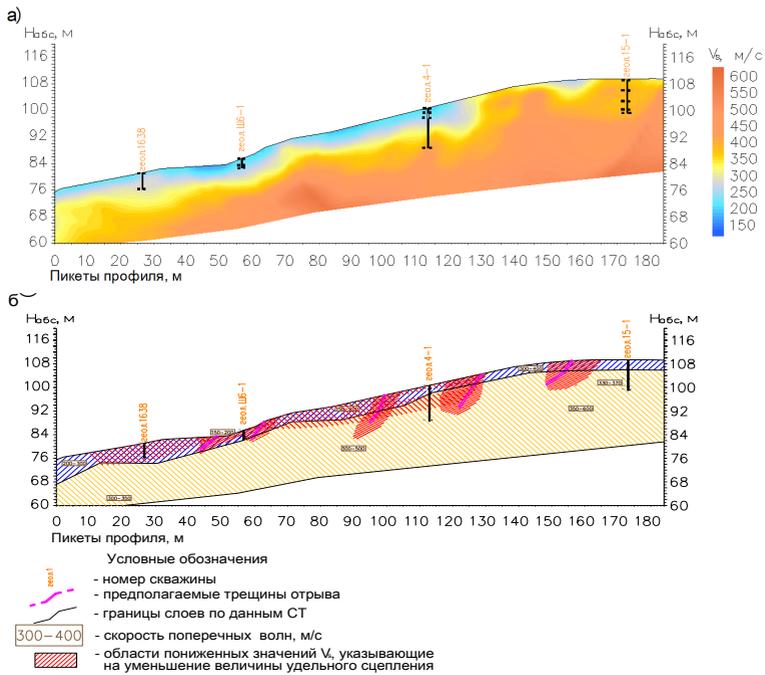


Рисунок 1Б. Скоростные сеймотомографический (а) и сейсмогеологический (б) разрезы поперечных волн V_s оползневого склона

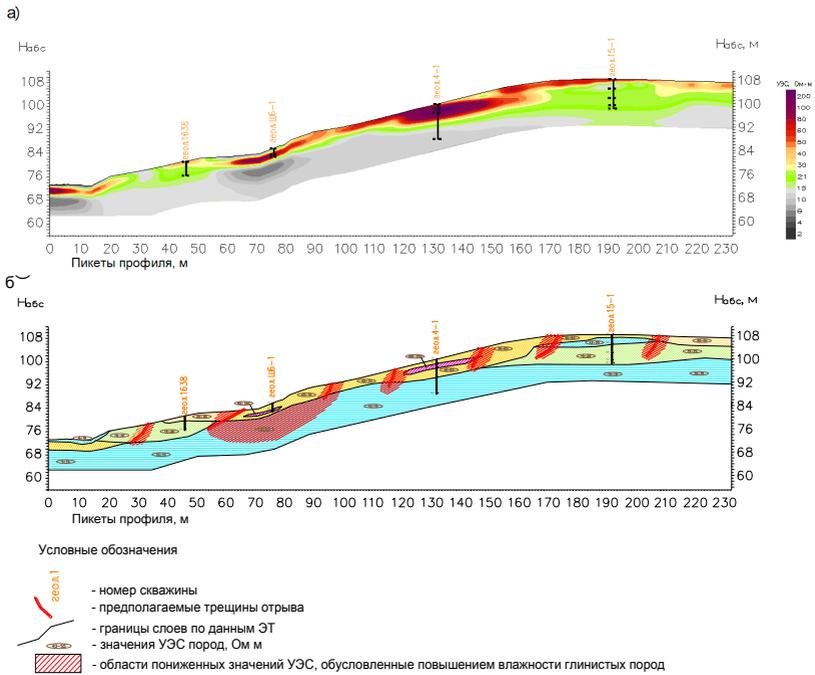


Рисунок 2Б. Электротомографический(а) и геоэлектрический (б) разрезы оползневого склона

Тема 2: Обоснование конструктивных параметров ограждающих дамб отвалного сооружения отходов химической промышленности, сформированного гидравлическим способом, в Ленинградской области.

Химический завод в г. Волхов Ленинградской обл., производящий минеральные удобрения, в качестве сырья использует апатитовое сырье, в результате переработки которого образуется крупнотоннажный побочный продукт, называемый фосфогипсом (дигидрат или полугидрат сульфата кальция с содержанием примеси P_2O_5). Данный отход на предприятии складировается гидравлическим способом в специальные намывные сооружения, называемые гипсонакопителями. Гипсонакопитель на данном объекте является гидротехническим сооружением намывного типа с четырехсторонним обвалованием. Он состоит из:

- пионерной дамбы, сооруженной из местного глинистого материала, которая отделена от основной дамбы дренажной канавой;
- дренажной канавы, дно которой сложено фосфогипсом;
- основной ограждающей дамбы, сооруженной из фосфогипса, внутрь контура которой (чаша гипсонакопителя) происходит намыв пульпы (смеси воды и фосфогипса в соотношении 4:1).

В результате намыва внутри чаши по контуру ограждающих дамб формируется надводная часть – пляж намыва, а в центре чаши – прудок-отстойник (подводная часть чаши). Нарращивание ограждающих дамб осуществляется из осушенного слежавшегося фосфогипса с пляжа намыва.

В ходе регулярного мониторинга устойчивости данного сооружения была произведена геодезическая съемка пикетов нескольких профилей (результаты приведены в табл. 4) и пробурены инженерно-геологические скважины (результаты бурения приведены в табл. 5) с отбором образцов для последующего определения физико-механических свойств (свойства приведены в табл. 6). Специальные лабораторные исследования фосфогипса показали, что его прочностные свойства зависят от влажности и степени водонасыщения, что в свою очередь определяется положением уровня техногенного водоносного горизонта (депрессионной кривой) в теле ограждающей дамбы. Питание данного водоносного горизонта осуществляется в большей степени за счет технической воды из чаши гипсонакопителя и в меньшей – атмосферными осадками, и соответственно положение зеркала вод внутри дамбы будет определяться шириной пляжа намыва. На основании указанного в строении массива гипсонакопителя выделены два элемента: ИГЭ 1а – «сухой» фосфогипс (выше уровня воды); ИГЭ 1б – водонасыщенный фосфогипс (ниже уровня). Ввиду того, что обводненность влияет на прочностные характеристики насыпных пород ограждающих дамб гипсонакопителей, для более точного фиксирования глубины уровня техногенного водоносного горизонта были произведены геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования (глубины уровня техногенного водоносного горизонта приведены в табл. 7).

Исходя из представленных данных необходимо оценить устойчивость откоса при фактической высоте гипсонакопителя и в случае необходимости рекомендовать противооползневые мероприятия, а также предложить конструктивные параметры дамбы при ее наращивании до проектной отметки +52,5 м.

Таблица 4. Данные геодезической съемки

Вариант 1			Вариант 2		
№ точек	X, м	Y, м	№ точек	X, м	Y, м
ПК 1	0,0	29,6	ПК 1	0,0	31,0
ПК 2	14,1	30,6	ПК 2	9,3	36,9
ПК 3	23,3	35,7	ПК ВЭЗ 5	11,0	36,9
ПК ВЭЗ 1	25,0	35,8	Скв. 3	12,0	36,9
Скв. 1	27,0	35,9	ПК 3	13,3	36,9
ПК 4	27,9	35,9	Урез воды в канаве	15,7	35,1
Урез воды в канаве	29,8	35,1	Дно канавы	24,3	32,0
Дно канавы	40,5	32,1	Урез воды в канаве	32,9	35,1
Урез воды в канаве	48,4	35,1	ПК 4	42,1	41,1
ПК 5	54,7	37,1	ПК 5	45,9	42,9
ПК 6	63,7	44,5	ПК ВЭЗ 6	48,0	43,3
ПК ВЭЗ 2	65,0	44,6	ПК 6	51,3	43,7
ПК 7	72,1	44,7	ПК 7	54,1	45,2
ПК 8	83,0	53,7	ПК 8	64,6	53,6
ПК ВЭЗ 3	84,0	53,7	ПК ВЭЗ 7	66,0	53,6
ПК 9	88,7	53,7	ПК 9	75,2	53,5
ПК 10	91,3	55,4	ПК 10	77,7	54,8
Скв. 2	93,0	55,4	Скв. 4	80,0	55,0
ПК 11	100,7	55,4	ПК 11	88,6	55,2
ПК 12	112,2	55,0	ПК 12	99,7	55,1
ПК ВЭЗ 4	115,0	55,0	ПК ВЭЗ 8	106,2	55,6
ПК 13	124,0	55,0	ПК 13	107,2	56,2
ПК 14	125,0	55,9	ПК 14	113,7	56,5
ПК 15	134,5	55,9	Пляж намыва	116,0	54,6
Пляж намыва	137,2	54,5	Прудок-отстойник	140,0	54,0
Прудок-отстойник	160,0	54,0			

Таблица 5. Геологические колонки скважин

№№ скважин	1	2	3	4
Название породы	Абс. отметки подошвы слоев, м			
Насыпной суглинок тугопластичный с гравием и галькой	28,4	-	28,4	-
Фосфолипс	-	26,8	-	26,8
Торф среднеразложившийся	26,6	26	26,6	26
Суглинок полутвердый с гравием и галькой	19,9	20	19,9	20
Известняк прочный	17	17	17	17
Абс. отм. уровня подземных вод, м	34,7	49,3	34,9	49,6

Таблица 6. Расчетные физико-механические параметры грунтов

№ ИГЭ	Название грунта	Геол. индекс	Физико-механические свойства	
			Плотность ρ , г/см ³	Угол внутреннего трения ϕ , град
1а	Насыпной суглинок тугопластичный с гравием и галькой	t IV	1,88	20
1б	«Сухой» фосфолипс	t IV	1,55	32
1в	Водонасыщенный фосфолипс	t IV	1,55	30
2	Торф среднеразложившийся	b IV	0,89	19
3	Суглинок полутвердый с гравием и галькой	g III	2,19	21
4	Известняк прочный	<i>O₂tl</i>	2,39	22
				Сцепление с, кПа
				27
				25
				15
				18
				28
				81

Таблица 7. Интерпретация результатов вертикального электрического зондирования

№№ пикетов ВЭЗ	Абс. отметки поверхности грунтовых вод, м
1	43,0
2	47,3
3	51,5
4	41,5
5	47,3
6	53,3

Литература

1. Бурлуцкий, С.Б. Физико-геологические модели оползневых склонов по данным электро- и сейсмотомографии : автореф. дис. ... канд. геолого-минерал. наук : 25.00.10 / Бурлуцкий Станислав Борисович. – Санкт-Петербург, 2015. – 20 с.
2. Иванов, И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – СПб.: Наука, 2001. – 416 с.
3. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
4. Огильви, А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви; под ред. В.А. Богословского. – М.: Недра, 1990. – 502 с.
5. Саваренский, Ф.П. Инженерная геология / Ф.П. Саваренский. – 2-е изд. – М.: ГОНТИ, 1939. – 488 с.

Подписано в печать 22.11.2018 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,0. Тираж 50 экз.
Заказ № 5007.

Отпечатано с готового оригинал-макета заказчика
в ООО «Издательство “ЛЕМА”»
199004, Россия, Санкт-Петербург, 1-я линия В.О., д.28
тел.: 323-30-50, тел./факс: 323-67-74
e-mail: izd_lemma@mail.ru
<http://www.lemaprint.ru>