

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В ОПОЛЗНЕВОЙ ЗОНЕ Г. БАРНАУЛА (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА БЫВШЕЙ ОВЧИННО-МЕХОВОЙ ФАБРИКИ)

А. В. Князева, Б. Ф. Азаров

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье дана характеристика оползневой территории г. Барнаула в районе бывшей овчинно-меховой фабрики. Приведены примеры крупных оползневых деформаций на данной территории и их причины. Рассмотрена возможность периодического отслеживания изменений оползневых деформаций с применением спутниковых (аэрокосмических) снимков и картометрического метода.

Ключевые слова: оползневые деформации, картометрический метод, аэро- и космоснимки, дешифрирование снимков, вычисление площадей, оценка точности.

Учитывать развитие оползневых процессов необходимо как при строительстве новых объектов, так и при эксплуатации уже возведенных. Постоянное наблюдение за оползневыми процессами позволяет предотвратить разрушение откосов (как естественных, так и искусственных), склонов, не допустить угрозы аварийных ситуаций при эксплуатации зданий и сооружений, а значит, избежать экономических потерь и человеческих жертв.

Для города Барнаула такого рода наблюдения актуальны, так как на его территории существует множество участков, подверженных оползневым деформациям.

Территория бывшей овчинно-меховой фабрики расположена во втором оползневом районе г. Барнаула [1]. Этот район имеет протяженность 5 км от устья р. Барнаулки на юге до железнодорожной выемки у моста через р. Обь в северной части.

Особенностью данной территории является то, что почти на всём протяжении она защищена от размывающего воздействия р. Оби песчаной косой и отделена от основного русла так называемым «ковшом» (гаванью). На территории оползневого района развиты оползни суффозионного или смешанного (полигенного) типа. Крутизна берегового откоса достигает 30-45° и более, высота 50-60 м.

Пораженность склона оползневыми процессами очень высокая – 0,3-0,8. Коэффициент устойчивости 0,6-1,4 [2].

В ноябре 2010 года в рассматриваемом районе произошло обрушение части выпуска ливневого коллектора, построенного три десятилетия назад. Было принято решение начать работы по восстановлению ливневого выпуска.

Однако попытки восстановить коллектор не увенчались успехом из-за оползневой активности берега.

Во время интенсивного выпадения атмосферных осадков 1 июля 2011 года в районе ул. Фабричной, 29, произошел сход грунта объемом около 200 тыс.м³. Оползневые деформации произошли в непосредственной близости от жилых домов и угрожали жизни и здоровью людей (рисунок 1).

Для того чтобы проследить за развитием оползневых деформаций на территории г. Барнаула за последние 5-7 лет, можно использовать такие бесплатные интернет-ресурсы, как, например, GoogleEarth.

Изменение площади и распространения оползневых деформаций в районе овчинно-меховой фабрики можно оценить с помощью исторических спутниковых снимков за разные годы (2009 г., 2010 г., 2011 г., 2014 г. и 2015 г. соответственно) (рисунок 2). На снимках хорошо прослеживается рост оползневых деформаций. Кроме того, с помощью этих же снимков можно оценить количественно площадь территории, пораженной оползнями.



Рисунок 1 – Сход грунта 1 июля 2011 г.



Рисунок 2 – Исторические спутниковые снимки за 2009 г., 2010 г., 2011 г., 2014 г. и 2015 г.

Для этого мы воспользуемся программным комплексом Торосад, куда могут быть загружены в виде растровых изображений спутниковые снимки исследуемого участка. Предварительно на крупномасштабных планах и снимках в пределах исследуемого участка выбираем не менее 3-4 хорошо опознаваемых общих контурных точек. Для этих точек определяем плоские прямоугольные координаты, как с топографического плана, так и на растре и средствами программы осуществляем их пересчет в заданную систему координат (например, городскую). Затем с помощью функций программы Торосад определяем общую площадь территории, пораженной оползнями на определенную историческую дату.

Далее полученные данные о площадях оползней сравниваем между собой и проводим количественную оценку оползневых деформаций. Ниже рассмотрены понятия, связанные с предварительным этапом оценки техногенной нагрузки с использованием спутниковых (аэрокосмических) снимков и картометрического метода.

Аэрокосмический снимок – это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим (фотометрическим) законам путем дистанционной регистрации яркости объектов и предназначено для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения [5].

Для уверенного определения на аэро- и космоснимках контурных точек необходимо использовать методы их дешифрирования.

Дешифрированием называют процесс опознания на аэрофотоснимках объектов местности, выявление их свойств, определение качественных и количественных характеристик.

Различают дешифрирование полевое, камеральное и комбинированное. При полевом дешифрировании визуально сличают изображения объектов на аэрофотоснимках с местностью. Камеральное дешифрирование основано на анализе дешифровочных признаков изображения различных контуров и объектов местности. Камеральное дешифрирование основано на анализе дешифровочных признаков изображения различных контуров и объектов местности.

Так как оползневые деформации в плане представляют собой замкнутые криволинейные контуры, необходимо рассмотреть спо-

собы для вычисления их площадей и оценки точности. Существует несколько способов определения площади участка с криволинейными границами [3]. Первый способ предполагает определение площади по измерениям от пунктов сети. Вдоль криволинейного контура намечаются пикеты так, чтобы соединяющие их отрезки образовали ломаную линию, практически совпадающую с данным контуром. В местах мелких искривлений контура пикеты располагают так, чтобы площади, образуемые отклонениями криволинейного контура от отрезка прямой в одну и другую сторону, были практически равны.

Положения пикетов определяется либо с помощью электронного тахеометра или с помощью теодолита, мерной ленты, рулетки, экера. При определении координат пикетов с помощью электронного тахеометра, его устанавливают на пунктах геодезической сети. На каждом пункте измеряют углы между направлением на смежный пункт и направлениями на пикеты 1, 2, 3 ... и горизонтальные расстояния до пикетов $d_1, d_2, d_3 \dots$, а затем вычисляют координаты пикетов, решая прямые геодезические задачи.

Определив координаты всех пикетов, искомую площадь многоугольника вычисляют как площадь многоугольника по формулам [5]

$$p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (1)$$

$$p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}). \quad (2)$$

При отсутствии опорной сети измеряют стороны и углы контура-многоугольника. Одному из пунктов присваивают произвольные значения координат x_1, y_1 , а по выбранному направлению 1-2 – произвольное значение дирекционного угла α_{12} . Далее вычисляют координаты остальных вершин многоугольника.

Полученные таким образом координаты являются локальными и нужны только для последующего вычисления координат пикетов, которые используются для вычисления площади участка.

При использовании менее совершенных средств – теодолита, мерной ленты, рулетки, экера применяем следующую методику. Прокладываем вспомогательный ход так, чтобы его стороны проходили вблизи линии криволинейного контура участка. Теодолитом измеряем горизонтальные углы, а лентой – стороны многоугольника. Одному из пунктов

присваиваем произвольные координаты, а одной из сторон – произвольное значение дирекционного угла и вычисляем координаты вершин многоугольника.

Второй способ – это способ свободной станции. Способ предусматривает выполнение съемки с использованием электронного тахеометра, установленного в произвольно выбранной съемочной точке. Для определения площади данным способом не требуется наличие геодезической сети.

Электронный тахеометр устанавливаем так, чтобы были видны все закрепляющие линию контура пикеты 1, 2 ... n (рисунок 3). Вешку с отражателем устанавливаем в точках 1, 2 ... n и фиксируем каждый раз горизонтальное расстояние d_i от съемочной точки A до очередного пикета i и отсчет M_i по горизонтальному кругу. Вычисляемая площадь делится на секторы, площадь которых находят по формуле [3]

$$p_i = \frac{1}{2} d_i \cdot d_{i+1} \cdot \sin \beta_i, \quad (3)$$

где i – номер сектора, $\beta_i = N_{i+1} - N_i$ – острый угол треугольника, равный разности направлений на смежные пикеты i и $i+1$.

Площадь всего участка находят как сумму площадей секторов

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n. \quad (4)$$

Может возникнуть необходимость расположения съемочной точки A вне контура, ограничивающего площадь. Тогда искомая площадь P вычисляется как разность площадей

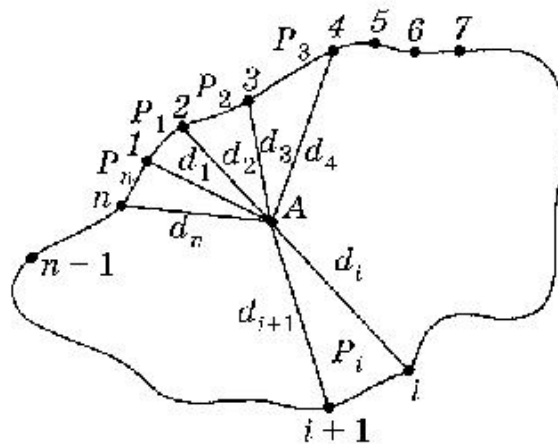


Рисунок 3 – Схема измерений на свободной станции

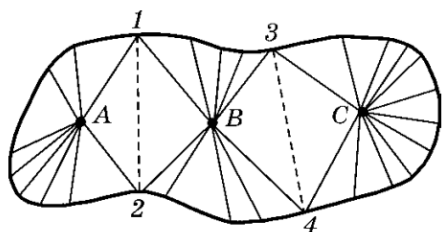


Рисунок 4 – Цепочка свободных станций

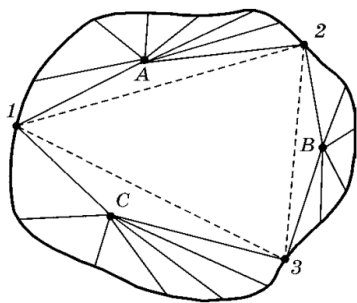


Рисунок 5 – Съемка площади с недоступной частью

$$P = P_1 - P_2, \quad (5)$$

где P_1 – сумма площадей секторов, ограниченных отрезками прямых от съемочной точки до точек, расположенных на дальней границе участка, P_2 – сумма площадей секторов, ограниченных отрезками прямых от съемочной точки до точек на ближней границе участка. Площадь каждого сектора находим по формуле (3) [3].

Следующий способ – способ нескольких свободных станций применяется в том случае, если с одной съемочной точки видны не все пикеты.

На рисунке 4 участок разбит на три части линиями 1-2 и 3-4, площадь каждой из которых определяется методом свободной станции. Общую площадь участка находят как сумму трех выделенных площадей.

На рисунке 5 показана схема участка, значительная средняя часть которого недоступна для измерений. А, В, С – места для установки электронного тахеометра, которые связаны между собой только общими пикетами 1, 2, 3. Площади, ограниченные границей контура и пунктирными линиями, вычисляют, измерив показанные на рисунке расстояния и горизонтальные направления на точки, аппроксимирующие криволинейную границу участка. Площади секторов определяют по формуле (3), а вся площадь, окружающая станцию (А, В или С), – по формуле (4).

Вычисление площади треугольника 123 начинаем с определения его сторон по теореме косинусов. Затем определяем площадь треугольника по теореме Герона

треугольника по теореме Герона

$$P_{\Delta} = \sqrt{s(s-d_{12})(s-d_{23})(s-d_{13})}, \quad (6)$$

где полупериметр s треугольника 123 вычисляется как

$$s = \frac{1}{2}(d_{12} + d_{23} + d_{13}).$$

Площадь всего участка находим, суммируя все четыре вычисленные площади

$$P = P_{\Delta} + P_A + P_B + P_C. \quad (7)$$

Выполним оценку точности площади, вычисленной по формуле (3). Если предположить, что площади треугольников, образующие площадь контура, вычислены по независимым измерениям, то средняя квадратическая ошибка (СКО) вычисления площади [4]

$$m_p = \sqrt{m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2 + \dots + m_{P_i}^2}, \quad (8)$$

где m_{P_i} – СКО вычисления площади i -го треугольника.

Выполнив ряд преобразований, получим формулу для СКО

$$m_{P_i} = \frac{1}{2} \sqrt{(d_{i+1} \cdot \sin \beta_i \cdot m_{d_i})^2 + (d_i \cdot \sin \beta_i \cdot m_{d_{i+1}})^2 + (d_i \cdot d_{i+1} \cdot \cos \beta_i \cdot m_{\beta_i})^2}. \quad (9)$$

Упростив данные формулы и предположив, что тахеометр находится в центре правильного многоугольника, а все измерения имеют одинаковую точность, получим [4]

$$m_{P_1} = m_{P_2} = \dots = m_{P_n} = m_{P_{\Delta}}, \\ m_p = m_{P_{\Delta}} \sqrt{n}, \quad (10)$$

где $m_{P_{\Delta}}$ – СКО вычисления площади одного треугольника равна

$$m_{P_{\Delta}} = \frac{1}{2} \sqrt{2d^2 \cdot \sin^2 \beta \cdot m_d^2 + d^4 \cdot \cos^2 \beta \cdot m_{\beta}^2}.$$

В формуле (8) предполагается, что погрешности площадей суммируемых треугольников независимы. Но при вычислении площадей смежных треугольников используются общие для них измеренные расстояния d_i и горизонтальные направления N_i , поэтому вычисляемые площади треугольников являются величинами взаимозависимыми. Рассмотрим влияние взаимозависимости ошибок площадей треугольников на точность вычисления площади участка. Для примера возьмем площадь участка треугольной формы. Суммарная площадь объекта, разделенного измеряемыми линиями на три треугольника

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 = \\ &= \frac{1}{2} d_1 \cdot d_2 \cdot \sin(N_2 - N_1) + \\ &+ \frac{1}{2} d_2 \cdot d_3 \cdot \sin(N_1 - N_2) + \\ &+ \frac{1}{2} d_3 \cdot d_1 \cdot \sin(N_3 - N_3). \end{aligned} \quad (11)$$

СКО суммарной площади найдем по формуле

$$m_p^2 = F \cdot K_x \cdot F^T, \quad (12)$$

где F – строка частных производных площади P по измеренным величинам d_i и N_i .

По аналогичным формулам выполняется оценка точности площади и с иным числом вершин. В таком случае в формуле (11) будет не 3, а n слагаемых. С помощью ряда математических операций получаем формулу для расчета СКО площади равностороннего контура

$$m_p^2 = n \cdot (m_d \cdot \sin \beta)^2. \quad (13)$$

Для всей вычисляемой площади

$$P = \frac{n}{2} d^2 \cdot \sin \beta. \quad (14)$$

Из формул (13) и (14) получаем

$$m_p = \frac{2P}{\sqrt{n}} \cdot \frac{m_d}{d}, \quad (15)$$

где P – площадь объекта; n – число вершин; $\frac{m_d}{d}$ – относительная ошибка измерения длин линий. Например, для площади квадратной формы

$$m_p = P \cdot \frac{m_p}{d}. \quad (16)$$

Полученные формулы позволяют сделать вывод о том, что точность вычисления площадей рассмотренным методом практически не зависит, а для правильных фигур совсем не зависит от ошибок измерения горизонтальных направлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Швецов, Г. И. Природно-техногенные геологические процессы и явления на территории Приобского плато и г. Барнаула / Г. И. Швецов, И. И. Молодых, Т. А. Горбунова, Б. Ф. Азаров – Глобальные изменения природной среды. – Новосибирск : Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГН, 1999.
2. Азаров, Б. Ф. Активизация природно-техногенных процессов на урбанизированных территориях г. Барнаула / Б.Ф. Азаров, С. Г. Платонова // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий: Матер. междуна. симпозиум. – Екатеринбург : Изд-во АКВА_ПРЕСС, 2001. – С. 422-425.
3. Коугия, В. А. Определение площадей объектов недвижимости / В. А. Коугия. – СПб. : Изд-во «Лань», 2013. – 112 с.
4. Дьяков, Б. Н. О точности определения площади участков местности / Б. Н. Дьяков // Геодезия и картография. – 2000. – № 5. – С. 43-45.
5. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник / Г. А. Федотов. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2006. – 463 с.

Князева А.В. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: k.anna.93@mail.ru.

Азаров Б.Ф. – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru.