

Суюнов Абдусали Саматович

*д.т.н., профессор кафедры Инженерная геоматика
Самаркандский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзо Улугбека*

Суюнов Шухрат Абдусалиевич

*к.т.н., доцент кафедры Инженерная геоматика
Самаркандский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзо Улугбека*

Аминжанова Малика Бахтиёровна

*базовый докторант 3-курса по специальности Геоинформатика
Самаркандский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзо Улугбека*

Омонов Исмоил Холбоевич

*Ст. преподаватель кафедры Инженерная геоматика
Самаркандский государственный архитектурно-строительный
университет имени Мирзо Улугбека*

АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: В данной статье проведен компаративный анализ существующих методов прогнозирования и оценки оползневых процессов. Рассмотрено региональное и локальное прогнозирование оползневой опасности, описаны качественные и количественные методы прогнозирования оползневых опасностей с целью формализовать методы оценок оползневых процессов на математический язык. Отмечено, что качественный сравнительный анализ существующих методов оценки и прогнозирования опасных оползневых процессов для выбора оптимального метода недостаточен. Необходима разработка сравнительного анализа численных критериев эффективности различных методов оценки опасных оползневых процессов.

Ключевые слова: региональное и локальное прогнозирование, изоморфизм, геодинамический потенциал, регрессионный анализ, анализ ритмичности, статистический анализ оползневых факторов, многомерная статистика, количественный локальный прогноз, математическое моделирование.

ANALYSIS METHODOLOGY OF FORECASTING AND ASSESSMENT OF LANDSLIDE PROCESSES

Abstract: This article provides a comparative analysis of existing methods for predicting and evaluating landslide processes. Regional and local forecasting of landslide hazards is considered, qualitative and quantitative methods for predicting landslide hazards are

described in order to formalize methods for assessing landslide processes into mathematical language. It is noted that a qualitative comparative analysis of existing methods for assessing and predicting dangerous landslide processes is insufficient to select the optimal method. It is necessary to develop a comparative analysis of numerical criteria for the effectiveness of various methods for assessing dangerous landslide processes.

Keywords: *Keywords: regional and local forecasting, isomorphism, geodynamic potential, regression analysis, rhythm analysis, statistical analysis of landslide factors, multidimensional statistics, quantitative local forecast, mathematical modeling.*

Введение. На территории Узбекистана мониторинг и прогнозирование оползневых процессов осуществляется в соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан от 30 апреля 2021 года № УП-6218 «О мерах по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными гидрометеорологическими явлениями и геологическими процессами», в котором определены задачи вовлеченных министерств и ведомств по организации мониторинга раннего выявления потенциально опасных гидрометеорологических явлений, геологических процессов и ликвидации их последствий [1].

Актуальность темы исследования. Прогнозирование данных процессов бывает региональным и локальным.

Региональное прогнозирование оползневых процессов заключается в оценке возможности их проявления и интенсивности развития, и взаимодействия с сооружениями в пределах значительного района. При региональном прогнозировании невозможно определить конкретные типы и места проявления оползневых процессов. Выделение районов осуществляется по принципу относительной однородности условий и факторов развития оцениваемого опасного процесса [2].

Локальное прогнозирование относится к конкретным типам склоновых процессов (в отличие от регионального). Локальное прогнозирование имеет большое практическое значение за свою конкретность, так как полнее оценивает природу и механизм оползневого процесса.

Цель и задачи. Рассмотрим качественные и количественные методы прогнозирования оползневых опасностей с целью формализовать методы оценок оползневых процессов на математический язык [3].

Качественный региональный прогноз оползневой опасности

К этому классу методов относятся:

- методы прогнозирования оползней, которые основаны на экспертных оценках;
- методы оценки устойчивости территории в баллах [4].

Методы прогнозирования оползней, основанные на экспертных оценках, содержат в себе три составляющие:

- 1) интуитивно-логический анализ задачи;
- 2) решение и предоставление полуколичественных или качественных оценок;
- 3) обработка результатов решения [2].

Экспертные оценки делятся на:

- индивидуальные;
- коллективные.

Коллективное мнение обладает большей точностью по сравнению с индивидуальным мнением отдельного специалиста.

Метод оценки устойчивости территории в баллах основан на качественном анализе условий проявления оползневого процесса, носит субъективный характер и позволяет получать только приблизительные оценки [5], [6].

Геодезических работ при качественном прогнозировании оползневых опасностей нет. В дальнейших исследованиях эти методы не учитываются.

Количественный региональный прогноз оползневой опасности

Количественное прогнозирование оползневой опасности состоит из двух подклассов методов:

1) детерминированные;

2) вероятностные [2].

К подклассу детерминированных методов относятся следующие группы:

– методы оценки проявления оползневых процессов;

– методы аналогий [2].

Методы оценки проявления оползневых процессов состоят из двух подгрупп:

– распространенность;

– временная изменчивость [5], [6].

Распространенность характеризуется следующими коэффициентами:

– коэффициент линейной пораженности, который рассчитывают по формуле (1):

$$K_{\text{л}} = \frac{l}{L}, \quad (1)$$

где l – длина оползневого тела;

L – общая длина склона;

– коэффициент площадной пораженности, который рассчитывают по формуле (2):

$$K_{\text{п}} = \frac{f}{F}, \quad (2)$$

где f – площадь оползня;

F – общая площадь участка;

– коэффициент частотной пораженности. Вычисляют по формуле (3):

$$K_{\text{ч}} = \frac{n}{F}, \quad (3)$$

где n – количество проявлений процессов на конкретном участке;

F – площадь конкретного участка [2].

Временная изменчивость характеризуется показателем активизации оползневого процесса (аналог ускорения) [2]. Рассчитывается такой показатель по следующей формуле (4):

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t}, \quad (4)$$

где V_1 – скорость движения оползня за прошлый год;

V_2 – скорость движения оползня в текущем году;

t – промежуток времени между замерахми скорости оползневого процесса;

a – активизация оползневого процесса.

По мнению специалистов, значения этих показателей, полученные на основе геодезических измерений, дают представление о предрасположенности склона к оползневым процессам и используются для составления прогнозов. Однако, учитывая, что коэффициенты отражают характеристики отдельных оползней, наиболее целесообразно применять их для локального прогнозирования.

Результаты и их обсуждение. Методы аналогий, основаны на изучении *геоморфологии* развития оползней и склонов, выявлении характерных показателей, систематизации данных и сопоставлении их для разных склонов, подлежащих оценке и прогнозированию. Оценка оползневой опасности склона может быть приближенно количественной [2].

При прогнозировании методами аналогий используется такая категория как изоморфизм инженерно-геологических условий [7]. Изоморфизмом определенных объемов литосферы называют равенство структур этих объемов и сходство свойств инженерно-геологических условий. Включает следующие типы методов:

- сравнительно-геологический,
- сравнительно-количественный,

– геологического подобия.

а) Сравнительно-геологический метод предполагает, что состояние прогнозируемого объекта и состояние объекта-аналога идентичны. Подразумевается, что результаты их движения за одинаковый промежуток времени должны быть близкими [2].

Геодезические работы не предусмотрены.

б) Сравнительно-количественный анализ оценивает устойчивость исследуемого склона по соотношению показателей его характеристик с показателями характеристик тех склонов, у которых устойчивость известна. Для использования метода надо изучить большое количество разновозрастных склонов и их устойчивость, установить связи между характеристиками [2]. По Е. П. Емельяновой количественные показатели, которые характеризуют основные параметры оползней, следующие:

1. Коэффициент удлиненности $I_{удл}$ (5):

$$I_{удл} = \frac{L}{b_{max}}, \quad (5)$$

где L – длина оползневого тела;

b_{max} – максимальная ширина оползневого тела.

2. Коэффициент глубины захвата $I_{гл}$ (6):

$$I_{гл} = \frac{h_{max}}{L}, \quad (6)$$

где h_{max} – максимальная мощность оползневого тела;

L – длина оползня.

3. Коэффициент уплотненности $I_{упл}$ (7):

$$I_{упл} = \frac{h_i}{b_i}, \quad (7)$$

где h_i – глубина оползания в одном из поперечных сечений;

b_i – ширина оползневого тела в этом же самом поперечном сечении;

4. Коэффициент кривизны склона $I_{кр}$ (8):

$$I_{кр} = \frac{H}{R}, \quad (8)$$

где H – значение высоты склона;

R – значение радиуса кривизны подошвы склона в **плане** [8].

Эти коэффициенты, также, вычисляют по данным геодезических определений. Они могут быть полезными, но не более того.

в) *Метод геологического подобия* позволяет корректно подходить к обоснованию подобия оползневых склонов с точки зрения инженерной геологии. В [10] предлагается огромная совокупность количественных условий геологического подобия и возможные решения для всех способов оценки вероятных отклонений в поведении объектов прогнозирования в зависимости от степени их соответствия аналогам.

Заметим, что методы прямых инженерно-геологических аналогий имеют следующие ограничения:

- недостаточный банк данных аналогов;
- невозможность осуществления прогнозирования на больший срок, чем срок существования аналога.

Несмотря на это, многие эксперты полагают, что методы, основанные на прямых инженерно-геологических аналогиях, обладают наибольшим потенциалом. Расширение базы данных по этим аналогиям, по мнению специалистов, откроет широкие возможности для их практического применения в будущем.

Подкласс вероятностных методов. До недавнего времени для оценки оползневой опасности преимущественно применялись детерминистические подходы. Тем не менее, в последнее время все большую популярность приобретают методики, использующие статистические методы анализа.

К методам прогнозирования оползневой опасности, основанные на статистическом подходе, относятся методы:

- геодинамического потенциала;
- регрессионного анализа;
- анализа ритмичности;
- статистический анализ факторов оползнеобразования;
- многомерная статистика [2].

Метод геодинамического потенциала предполагает расчет вероятности появления (активизации) оползневого процесса в пределах рассматриваемой площади.

Основная идея заключается в том, что определение вероятности проявления оползней зависит от величин вероятностей влияния факторов оползнеобразования $(P_1, P_2, \dots, P_n)$. *При этом* величина влияния каждого фактора оползнеобразования принимается независимой от воздействия остальных факторов. Для регионального прогнозирования рекомендуется отметить такие факторы оползнеобразования:

- породы, которые слагают склоны;
- гидрогеологическая обстановка;
- нарушения тектоники;
- суммы среднегодовых осадков;
- крутизна склонов (единственный геодезический параметр);
- влияние абразии или эрозии;
- антропогенное влияние.

Метод регрессионного анализа [8] включает в себя определение статистических зависимостей какого-то показателя от возможных количественных параметров влияния факторов оползнеобразования и, в конечном счете, получение регрессионного уравнений первой и второй степени.

Метод применяется для прогнозирования степени развития оползней при возможных изменениях факторов образования оползней.

Метод анализа ритмичности оползневого процесса заключается в корреляции периодичности активизаций оползневых смещений и ритмами солнечной активности, осадками и т.д.

Чтобы использовать этот метод, необходимы представительные и продолжительные циклы наблюдений за оползневыми процессами (не геодезических) с последующим достаточно сложным математическим анализом для выявления корреляционных функций по определенным специальным программам.

Полученные корреляционные функции дают возможность для изучаемого региона приближенно выполнять прогноз по количеству оползней на ближайшие годы с их площадью и одновременно прогнозировать время ожидаемой оползневой активизации [2], [5].

Методы статистического анализа оползневых факторов предполагают, что между зависимой переменной (нанесенная на карту распространение оползней) и независимыми переменными (несколько способствующих факторов) есть существенная статистическая корреляция, то независимые переменные могут использоваться для прогноза возможного расположения оползней в будущем [6]. Геодезические работы не предусмотрены.

Метод многомерной статистики, основан на том, что инвентаризация всех оползней непосредственно связана с землетрясениями [2]. Это дает возможность исключить долговременные и продолжительные наблюдения.

Достоинством метода считается то, что он учитывает периодичность сейсмического воздействия для активизации прогнозируемых типов оползней [4], [5], [7]. Проведенные проверки этой методики на ряде сейсмогенноопасных оползнях государства Тайвань [7] показали, что

методика вполне может быть применена с довольно высокой точностью. Геодезические работы не предусмотрены.

Метод может использоваться и в том случае, если **необходимые для** построения детерминистических моделей данные не доступны. Если же такие данные доступны, то метод может быть использован вместе с детерминистическими методиками. Это даст возможность повысить качество прогнозирования [2].

Из выше изложенного, можно заключить, что опасность оценивается коэффициентом линейной или площадной пораженности территории оползневым процессом, полученных по геодезическим данным [9]. Склоновые территории, на которых уже были проявления оползневых процессов, оцениваются как территории потенциально опасные, поскольку есть угроза продолжения развития оползневого процесса.

Количественный локальный прогноз оползневой опасности.

Локальные прогнозы имеют наибольшее практическое значение, осуществляются комплексом методов и глубже оценивают природу и механизм оползневого процесса [5].

При локальном прогнозировании оползневых опасностей решают два вида задач:

- 1) расчет устойчивости склона;
- 2) оценка скорости смещения оползневых масс [2].

При изучении устойчивости склона используют следующие методы:

- 1) аналогий;
- 2) физического моделирования;
- 3) математического моделирования.

При локальном прогнозировании оползневой опасности *методы аналогий* аналогичны региональному прогнозированию. Но этот метод практически не применяется при инженерно-геологических

исследованиях, поскольку нет в достаточном количестве геологических параметров оползневых процессов.

При *методе физического моделирования* предусматривается воссоздание в физических моделях аналогичных физических полей, которые есть у объекта природы, только измененные по размерам в соответствии с масштабом моделирования. Однако для сложных инженерно-геологических условий модели не созданы, поскольку методы физического моделирования не позволяют оценивать устойчивость склонов с необходимой точностью и нуждаются в проверке и подтверждении полученных результатов. Их использование весьма затруднительно. Геодезические работы не предусмотрены [2].

Методы математического моделирования предусматривают построение математических моделей исследуемых оползневых процессов. При прогнозировании оползневой опасности решают две главные проблемы:

1) оценка устойчивости склонов, основанная на теории предельного равновесия;

2) динамика развития оползневого процесса.

В основу расчетов по устойчивости склонов положено известное условие прочности грунтов Кулона-Мора (9):

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (9)$$

где τ – удельное сопротивление сдвигу;

σ – нормальное напряжение;

φ – угол внутреннего трения грунтов;

c – удельное сцепление грунтов [3].

Заключение. В последнее время в связи с внедрением в практику расчетов устойчивости склонов специальных программных продуктов, в основе которых положены численные методы анализа, методы

математического моделирования оползневых процессов становятся, все более востребованы. Программные продукты, основанные на механике сплошной среды, получили наибольшее развитие. При этом используются программы, которые основаны на методе конечных элементов PLAXIS и PHASE [11]. Этот метод является основным численным методом решения задач механики сплошной среды [2]. Из зарубежных подходов к оценке оползневых процессов следует упомянуть работы [3], [4], [6], [10].

В программах помимо геологических данных о свойствах грунтов используются данные, полученные из геодезических определений: площадь оползня, крутизна, высота, рельеф. Математическое моделирование в этом случае часто называют геомеханическим моделированием.

В заключение заметим, что качественный сравнительный анализ существующих методов оценки и прогнозирования опасных оползневых процессов для выбора оптимального метода недостаточен. Необходима разработка сравнительного анализа численных критериев эффективности различных методов оценки опасных оползневых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суюнов А.С., Аминжанова М.Б. Возможности визуализации селеопасной обстановки на основе ГИС-технологий / научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства», 16 апреля 2024год, спец выпуск, 122 с.
2. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности: специальность 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / И.К. Фоменко. - М. : 2014. – 320 с.
3. Симонян В.В., Николаева Г.А. Сравнительный анализ численных критериев результативности методов оценки опасных оползневых процессов // Журнал «Научное обозрение». 2017. № 20. С. 150-161.

4. Пендин, В.В. Комплексный количественный анализ в инженерной геологии / В.В. Пендин // М. : КДУ, 2009. – 350 с.
5. A. Suyunov, S. Suyunov, O. Urokov, Application of GIS on Research of Horizontal Refraction in Polygonometry on Network, In E3S Web of Conferences, 227, 04003 (2021).
6. A. S. Suyunov, A. A. Mirzaev, O. A. Urakov, S. A. Suyunov, Field studies of electronic total stations in a special reference satellite geodetic basis, In 2nd 7 E3S Web of Conferences 463, 02006 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346302006> EESTE2023 International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022), 12564, 208-213 (2023)
7. Suyunov, A., Aminjanova, M., Khushmurodov, F., Usmanova, R., Erdonov, L., Mukumova, H., ... & Sultanov, S. The impact of the hydrological condition of Kashkadarya oasis on the formation of agrolandscapes, In *E3S Web of Conferences* 539, 01016 (2024).
9. Practice note guidelines for landslide risk management // Australian Geomechanics Journal. Australian Geomechanics Society (AGS), 2007. - V. 42.-№1.-P. 63-114.
6. Бондарик, Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярм // Учебник. Москва : КДУ, 2009. - 440 с.
10. Пендин, В.В. Изоморфизм и изомерность инженерно-геологических условий / В.В. Пендин // Геоэкология, № 1, 1994. – С. 44-48.
11. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1984. – 80 с.