

УДК 551.4 (571.150)

ОЦЕНКА ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БАРНУЛА

Семикина Светлана Сергеевна¹,
swetik315@mail.ru

Сотников Петр Викторович²,
sotnikov.pet@yandex.ru

¹ Алтайский государственный университет,
Россия, 656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61.

² ООО «Барнаулстройизыскания»,
Россия, 656049, г. Барнаул, ул. Чернышевского, 281б.

Актуальность работы обусловлена активностью протекания оползневых процессов на территории г. Барнаула. Оползни, среди гравитационных процессов, независимо от первопричин, оказывают наибольшее воздействие на устойчивость природных геосистем, хозяйственную деятельность человека, объекты промышленности и инфраструктуры. В истории города отмечены оползни, значимые по масштабам и последствиям, принесшие большой экономический ущерб и гибель людей. Вследствие развития города Барнаула, увеличения техногенной нагрузки на береговой склон, возрастает потребность в прогнозе и оценке опасности оползневой зоны города для выделения участков, которым следует уделять большее внимание и контролировать антропогенное воздействие на них.

Цель работы: выполнить оценку оползневой опасности береговых склонов в черте города Барнаула.

Методы исследования: логический анализ, сбор материалов за весь период наблюдения за протеканием оползневых процессов, полевые наблюдения для выявления наиболее активных участков и факторов развития опасных геологических процессов, полуколичественный метод для оценки оползневой опасности береговых склонов города.

Результаты. С применением полуколичественного метода оценки опасности, включающего в себя определение вероятности проявления оползневых процессов в зависимости от воздействия факторов оползнеобразования и элементы балльной оценки, составлена картосхема степени оползневой опасности береговых склонов в черте города Барнаула. По результатам проделанной работы выделены и охарактеризованы участки в оползневой зоне города с различной степенью опасности. Полученные результаты исследования могут быть использованы при планировании инженерно-хозяйственной деятельности и проведении защитных мероприятий в оползневой зоне города.

Ключевые слова:

Береговой склон, процесс, оползень, оценка, опасность.

Введение

Оползневые процессы характеризуются внезапностью и высокой скоростью протекания. Они существенно изменяют рельеф земной поверхности, уничтожают расположенные на них уголья, нарушают устойчивость целых комплексов сооружений: зданий, дорог, каналов, разрушают их, вызывая природные катаклизмы с огромным экономическим ущербом и человеческими жертвами.

Город Барнаул относится к территориям с активным протеканием оползневых процессов. Оползневая зона Барнаула расположена на Обском левобережном склоне, на правобережном склоне р. Барнаулки. Ее протяженность составляет 42 км.

За период наблюдений, начиная с 1975 г., в городской оползневой зоне произошло более 400 оползней. В рамках предотвращения материального ущерба и гибели людей с 1974 по 1996 гг. в оползневой зоне Барнаула было снесено около тысячи домов и переселено более 8000 человек [1–5].

Наиболее «знаменитые» по масштабам и последствиям оползни в Барнауле:

- самый крупный оползень, из известных в истории города, произошел 22 февраля 1914 г. в 10 часов утра. Он получил название «Обвал Ту-

риной горы». Ширина оползня по факту составила 100 сажен (213 м). Язык его перегородил р. Обь до середины, взломав лед на протяжении 500 сажен. Сформированный гребень в реке высотой 15 м простоял 8 лет и впоследствии был размыт;

- оползень, вызвавший наибольшее количество жертв, случился 25 июня 1995 г. в 5 часов утра на склоне долины реки Обь в районе ОАО «Барнаулмясо». Здесь сошел относительно небольшой оползень (протяженностью по фронту 50 м, длина оползневого тела 180 м), но он разрушил 4 жилых дома, дачу, баню и унес жизни 9 человек;
- оползень объемом 20 тыс. м³, принесший наибольший ущерб, произошел 17 июня 1983 г. в 23 часа. Он полностью разрушил кирпичное здание насосной станции Барнаульского шинного завода и трансформаторную подстанцию. Были также разорваны водоводы и электрокабели, выведен из строя куст артезианских скважин, 2 экскаватора и бульдозер. Язык оползня достиг дома по ул. Красноярская, 384, жители которого были предупреждены и своевременно покинули его [6, 7].

Изучению оползневых процессов территории города посвящены работы А.Я. Швецова [7], В.И. Осипова, И.И. Молодых, Г.И. Швецова [8].

Основной целью данного исследования является оценка оползневой опасности береговых склонов города для предупреждения ведения инженерно-хозяйственной деятельности на наиболее опасных участках.

Факторы и условия развития оползневых процессов на исследуемой территории

Развитие оползневых процессов на территории г. Барнаула во многом зависит от её геологического строения и рельефа, режима осадков, подземных вод, действия русла реки Оби и антропогенной нагрузки.

Как указывается в научно-справочном атласе [9], в геоморфологическом отношении город приурочен к Приобскому плато и долинам р. Обь и р. Барнаулки. С поверхности большая часть территории города (вся площадь Приобского плато) сложена покровными лессами (суглинками и супесями). На склоне плато обнажаются суглинки и пески красnodубровской свиты. В подошве склона р. Обь прослеживаются глины и суглинки кочковской свиты. В центральной части города полосой, шириной 2,4–3 км, протягиваются песчаные отложения поймы и трех надпойменных террас р. Барнаулки. С востока и севера территория города обрамляется поймой р. Обь, сложенной в основном песчаными осадками поймы и русла реки.

Средой развития оползней на территории города Барнаула является мощная толща (40–90 м) отложений красnodубровской свиты, представленная лессовыми суглинками (реже супесями) мощностью до 12 м с прослоями песков. В нижней части толщи пески водоносные. Аллювиальные отложения поймы и надпойменных террас р. Барнаулки представлены песками, супесями и суглинками. Толща красnodубровской свиты залегает на плотных суглинках и глинах кочковской свиты, которые являются региональным водоупором и плоскостью скольжения оползней. Породы красnodубровской и кочковской свит обнажаются на левом коренном склоне реки Обь, где происходит пластовое выклинивание подземных вод по кровле глинистых водоупорных пород кочковской свиты в виде многочисленных родников и мочажин [9].

На развитие оползневых процессов в пределах территории г. Барнаула оказывает влияние четвертичный водоносный комплекс, который включает в себя водоносные горизонты современных и верхнечетвертичных аллювиальных отложений долин рек Оби, Барнаулки, Пивоварки [8].

В разрезе толщи четвертичных отложений мощностью 5–100 м развиты маломощные водоносные горизонты грунтового типа, воды спорадического распространения и грунтовые воды типа «верховодка». На левобережном коренном склоне долины Оби подземные воды красnodубровской свиты выклиниваются на дневную поверхность в

виде пластового выхода по кровле кочковских глин (суглинков) выше уреза воды в реке и являются одной из основных причиной оползневых процессов и явлений на склоне [9].

Русловые процессы реки Обь в районе г. Барнаула отличаются значительной спецификой и сложностью протекания. Одной из основных особенностей является высокая интенсивность высотных и плановых деформаций русла. Это характерная черта обусловлена как естественными факторами русловых процессов (уклоны водной поверхности, состав прорезаемых рекой отложений и донных наносов, гидрологические особенности водного режима), так и антропогенными (разработка пойменных и русловых карьеров, дноуглубительные работы, строительство инженерных сооружений в русле и на берегах реки, возведение берегоукреплений) [10].

Высокая интенсивность русловых процессов обуславливается возможностью крупных переформирований русла за относительно короткие промежутки времени, например, спрямление как отдельных крутых излучин, так и их серий, формирование новых протоков и заиление староречий. Так, в конце XIX в. на отдельных участках русло располагалось в центральной или правобережной частях dna долины, в дальнейшем постепенно смещалось к левому коренному берегу. Таким образом происходил подмыв левого берега, что приводило к активизации оползневых процессов [9].

Оползни г. Барнаула также связаны с метеорологическими условиями района. Климат характеризуется комплексом метеорологических элементов, которые почти все оказывают влияние на коэффициент устойчивости склонов. Это влияние можно оценить количественно, учитывая сезонные колебания прочности пород, вес профильтровавшейся части атмосферных осадков, снеговую и ветровую нагрузки, барометрическое давление и т. д.

Для образования и активизации оползней наиболее благоприятны атмосферные осадки холодного периода года, когда меньше потери на испарение. Поэтому внутригодовая активность поверхностных оползней возрастает в зимне-весенний период года [10].

Воздействие инженерно-хозяйственной деятельности человека на развитие оползневых процессов многогранно и порой имеет значительные масштабы, сопоставимые с природным воздействием на их развитие. По-существу, многие оползни Барнаула являются геотехногенными [11]. Активное воздействие на развитие оползневых процессов оказывают следующие причины, вызванные деятельностью человека: вывод на склон и прибрежную полосу водоводов, золопроводов, канализационных колодцев, непрерывная планировка застроенной территории, нерегулируемость стока атмосферных осадков, застройка площадей непосредственно у бровки обрывистого склона, загрузка склонов отвалами отходов техногенного производства [8].

Главной причиной антропогенного характера, вызывающей развитие оползневых процессов, является дополнительное увлажнение грунтов [8].

Методы оценки и виды прогнозов оползневой опасности

Для учета и предотвращения возможного неблагоприятного, разрушающего воздействия оползневых процессов на комплекс городских сооружений необходимо выполнение оценки и прогноза оползневой опасности, представляющей собой обобщение и анализ сведений о вероятности проявления, активизации и распространения оползней, получение которых возможно на основе выявления факторов, способствующих оползнеобразованию [12].

Прогноз оползневой опасности классифицируется на: долгосрочный прогноз опасных геологических процессов (ОГП), на основе оценки и районирования оползневой опасности и риска; среднесрочный прогноз, основанный на информации службы мониторинга за оползневыми процессами; краткосрочный прогноз, основанный на реальном времени; автоматическое дистанционное управление и контроль информации [13].

По вышеуказанной классификации долгосрочный прогноз основан на оценке оползневой опасности. Рассмотрим методы, используемые для оценки опасности, и условия их применения.

Качественная и полуколичественная оценка применяется, когда необходимые данные для численного выражения факторов оползневой опасности отсутствуют или их объем недостаточен. Основной их задачей является обеспечение эффективности при планировании строительства и реконструкции мероприятий инженерной защиты [14].

Метод количественной оценки применяется, когда имеется полный объем необходимых данных для определения числовых значений основных оползнеобразующих факторов.

Качественная оценка оползневой опасности и риска производится на основании экспертного анализа всей совокупности факторов, определяющих вероятность наступления оползневого события и его возможные последствия. Получаемая в результате оценки информация должна обеспечивать основу для разделения данных факторов на качественные характеристики оползневого риска («высокий», «средний», «низкий») [14].

Для каждого конкретного объекта исследования на подготовительном этапе устанавливаются четкие критерии и термины, которые будут в дальнейшем использоваться для классификации оползневых участков по категориям и вероятности наступления и тяжести возможных последствий. Степень оползневой опасности оценивается по принципу их пересечения и выражается категорией риска [14].

Практическое применение данного метода для выполнения регионального краткосрочного прог-

ноза оползневой опасности на территории горнолыжного комплекса «Казань» и г. Иннополис нашли сотрудники Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета. В связи с нехваткой данных для осуществления количественного прогноза использовалась качественная оценочная шкала с использованием категорий «неизбежно», «возможно», «маловероятно». При этом прогнозируемая вероятность принималась достоверной при условии неизменности таких параметров, как уклон земной поверхности и строение грунтовой толщи [15, 16].

Полуколичественная оценка оползневой опасности основана на методе анализа иерархий и заключается в переходе от количественных и качественных характеристик природных и технических условий к балльным оценкам. Она применяется в случае необходимости оценить суммарное влияние на объект нескольких оползнеобразующих факторов, параметры которых выражены в различных размерностях.

Полуколичественная оценка оползневой опасности осуществляется в следующем порядке:

- разрабатываются частные балльные шкалы для каждого оцениваемого фактора;
- выбирается способ интеграции балльных оценок, и определяется результирующая шкала;
- осуществляется оценка каждого из компонентов оползневой опасности;
- по результатам полученных данных выводится интегральная кривая риска (опасности).

Каждый фактор оползневой опасности оценивается в безразмерных единицах – баллах, по специальным шкалам, разработанным исходя из интенсивности его проявления, а также роли, которую он играет в формировании оцениваемой геотехнической системы.

На основании полученных показателей вероятности ущерба и возможного смещения аналогично строится интегральная шкала оценки оползневой опасности [14].

Количественные методы оценки оползневой опасности и риска применяются при разработке проектных решений и мероприятий инженерной защиты на оползневых участках. Их преимуществом является высокая точность получаемых результатов.

Для оценки опасности и риска оползневого склона используют непрерывный и дискретный методы. Оба метода широко используются в инженерной геологии для изучения оползня, так как они применимы для слабых горных пород, где деформации определяются свойствами внутреннего строения или определены мелкими трещинами. Если горную породу рассматривать как единый массив с несколькими трещинами, используется непрерывный метод моделирования, основанный на методах конечных элементов или конечных разностей. Если деформация склона определена вдоль трещин горных пород, используется дис-

кретный метод. При таком подходе горная масса делится на небольшие блоки с числовыми функциями, характеризующие их взаимодействие, что позволяет имитировать свободное падение блока и широко используется для имитации обвала. Этот метод основан на точных геомеханических исследованиях, чтобы установить степень трещиноватости горного массива [17–20].

В опасных оползневых зонах для прогнозирования смещения горных масс с целью снижения риска все чаще применяют системы оповещения. Они могут своевременно проинформировать население, что позволит уменьшить влияние оползневых процессов на инженерно-хозяйственную деятельность. Современные системы предупреждения для прогнозирования состоят из технических компонентов, моделей и принятия решения человеком [21, 22]. Они используют типовые схемы скорости оползневых процессов для обнаружения событий.

В работу оповещения включают два этапа. На первом этапе система оповещения контролирует движение модели неустойчивого горного массива, чтобы отправить информацию мгновенного предупреждения. Неустойчивые склоны проявляют первые признаки деформации, такие как трещины разрыва, движение и увеличение активности [23]. Этот процесс включает в себя суточные колебания и зависит от температуры, атмосферных осадков, таяния снега и долгосрочного напряженно-деформированного состояния склонов, который контролирует распространение трещиноватости. Количество осадков, землетрясения, таяние снега, выветривание могут быть важными факторами, которые ослабляют горные массивы в ходе первого этапа [24]. Атмосферные осадки и таяние снега напрямую влияют на поровое давление воды, которая может стать основным фактором для смещения горной породы и окончательного срыва [25]. Для включения этих факторов в процедуры принятия решений, связанных с системами предупреждения, склоны часто оснащаются датчиками дождя и датчиками измерения порового давления воды [26].

На втором этапе происходит окончательное разрушение грунтовых связей и активизация гравитационных процессов [27, 28]. В этой фазе ускорения эксперты должны анализировать данные и применять модели для прогнозирования времени события и реализации соответствующих мер защиты [26].

Результаты и обсуждение

С точки зрения организации и ведения хозяйственной деятельности, а также планирования инженерно-защитных мероприятий территории г. Барнаула большое значение имеют сведения о степени опасности проявления оползневых процессов.

Для составления карты оползневой опасности города предполагается применять полуколичественный метод, включающий в себя определение

вероятности проявления оползней в зависимости от величины воздействия факторов-условий оползнеобразования и элементы балльной экспертной оценки.

Для оценки оползневой опасности береговых склонов на территории г. Барнаула выделены следующие факторы:

- породы, слагающие склон (литолого-генетические комплексы);
- относительное превышение плато над меженным уровнем, м;
- крутизна склона, град;
- расстояние от русла до подошвы склона, м;
- среднесреднегодные суммы осадков (годовые или за характерные сезонные периоды), мм;
- деятельность подземных вод краснодубровского водоносного горизонта;
- инженерно-хозяйственная деятельность человека (антропогенный фактор);

В рекомендации по количественной оценке, устойчивости оползневых склонов [29] указывается, что факторы, которые являются практически однородными для оцениваемой территории, могут не учитываться при определении опасности оползневого склона.

К условно-однородным факторам оползнеобразования для территории г. Барнаула можно отнести: породы, слагающие склон (литолого-генетические комплексы), среднесреднегодные суммы осадков (годовые или за характерные сезонные периоды), деятельность подземных вод краснодубровского водоносного горизонта.

В качестве факторов, которые имеют существенную пространственную изменчивость в пределах исследуемой территории и могут быть использованы в качестве критериев для оценки опасности оползнеобразования, выбраны: относительное превышение плато над меженным уровнем реки, крутизна склона, расстояние от русла до подошвы склона, инженерно-хозяйственная деятельность человека (антропогенный фактор).

Значения этих факторов были ранжированы и оценены от одного до трех баллов (табл. 1). При этом наивысшую оценку в баллах получили значения факторов наиболее значимые для оползнеобразования.

В ходе работы на основе табл. 1 были выделены участки оползневых склонов, различающиеся по характеру и величине действующих факторов-условий. Выделение участков проводилось по следующему алгоритму. Вначале выделялся участок склона с уклонами, попадающими в определенный интервал значений (табл. 1). Затем внутри выделенного участка измерялось относительное превышение плато над меженным уровнем воды в реке, после чего измерялось расстояние от русла до подошвы склона, и на заключительном этапе оценивался антропогенный фактор. В случае внутренней неоднородности участка по какому-либо из перечисленных критериев проводилось его дальнейшее деление.

Таблица 1. Шкала балльной оценки факторов-условий оползнеобразования на территории г. Барнаула

Table 1. Scale for evaluation of landslide hazard factors on the territory of Barnaul

Факторы-условия оползневой опасности Landslide hazard factors	Вклад факторов-условий в формирование оползневой опасности, балл Potential effect of factors on the landslide hazard processes, grade points		
	1	2	3
Относительное превышение плато над меженным уровнем, м Relative elevation of plateau above low-water stage, m	Менее 10 Less than 10	10–30	Более 30 More than 30
Крутизна склона, град Slope inclination, grades	29 и менее 29 and less	30–39	40 и более 40 and more
Расстояние от русла до подошвы склона, м Distance from the river bed to the bottom of slope, m	Более 20 More than 20	10–20	0–10
Инженерно-хозяйственная деятельность человека (антропогенный фактор) Economic planning activities (anthropogenic factor)	Расстояние от жилой застройки и промышленных объектов более 100 м Distance from a residential area and industrial site is exceeding 100 m	Жилая застройка вплотную подходит к бровке склона Residential area comes close to the edge of the slope	Промышленные объекты подходят вплотную к бровке склона Industrial sites come close to the edge of the slope

Следующим этапом было определение степени опасности оползневого склона (табл. 2) на каждом из выделенных участков. Для этого мы суммировали баллы оценки факторов-условий, определенные в соответствии с табл. 1.

Таблица 2. Степень опасности оползневого склона

Table 2. Hazard analysis of a landslide slope

Интервал баллов/Grade points	Степень опасности/Hazard level
4–6	Слабо опасные/Low
7–9	Опасные/High
10–12	Очень опасные/Extremely high

Основываясь на табличные данные (табл. 1, 2), мы выделили в оползневой зоне г. Барнаула участки с различной степенью оползневой опасности (рисунок).

По результатам составленной картосхемы (рисунок), с учетом многолетних наблюдений оползневой станции, на опасных участках возможно проявление оползневых процессов, для ведения инженерно-хозяйственной деятельности в данных районах необходимо принятие соответствующих мер.

По итогам оценки опасности установлено, что очень опасные участки занимают 42 % от общей протяженности оползневой зоны г. Барнаула, опасные – 48 % и слабо опасные – 10 %.

Очень опасные участки распространены в местах отсутствия поймы р. Обь и в местах с высокой антропогенной нагрузкой, где основными оползнеобразующими факторами являются: размывающая деятельность реки, производящая подмыв и обрушение берегов, сносящая сползшие массы грунта (играющие роль контрбанкета), обуславливая повышенную крутизну склона и препятствуя его стабилизации, и техногенное воздействие на склон – дополнительное увлажнение грунтов.

Также очень опасные участки можно характеризовать по степени пораженности. По данным ре-

зультатов наблюдений Оползневой станции за ОВП очень сильной пораженностью характеризуются участки: от Барнаульского санатория до нового автомобильного моста через р. Обь (на этом участке почти весь Обской склон поражен оползневыми цирками) и от Барнаульской нефтебазы до старого железнодорожного моста через р. Обь. Для них коэффициент пораженности K_p (K_p равен отношению площади, занимаемой оползневыми цирками, к общей площади участка) варьирует от 0,5 до 1,0. Сильная пораженность склона оползнями (K_p 0,25–0,5) наблюдается на участках от устья Барнаулки до Овчинно-меховой фабрики (АО «Руно») и от ТЭЦ-2 до завода техуглера, включая оба эти предприятия. Средняя пораженность (K_p 0,1–0,25) характерна для участков от железнодорожной выемки до ТЭЦ-2 и от завода техуглера до АО «Барнаульмясо» включительно. Слабо поражен оползнями (K_p меньше 0,1) участок Обского склона от д. Ерестной до 1 речного водозабора и правый склон долины р. Барнаулки от устья её до западной границы города.

На опасных участках размывающая деятельность отсутствует, основными оползнеобразующими факторами на вышеуказанных участках является антропогенная нагрузка, высота и крутизна склона.

Слабо опасные участки характеризуются небольшим превышением плато над меженным уровнем и небольшой крутизной склона. Основным оползнеобразующим фактором является инженерно-хозяйственная деятельность.

Заключение

К настоящему времени оползневой станцией накоплен значительный по объему статистический материал, характеризующий оползневую обстановку в г. Барнауле с 1974 г. [30]. Собранные данные позволяют судить о динамике оползневых процессов, объемах сместившихся масс, а также

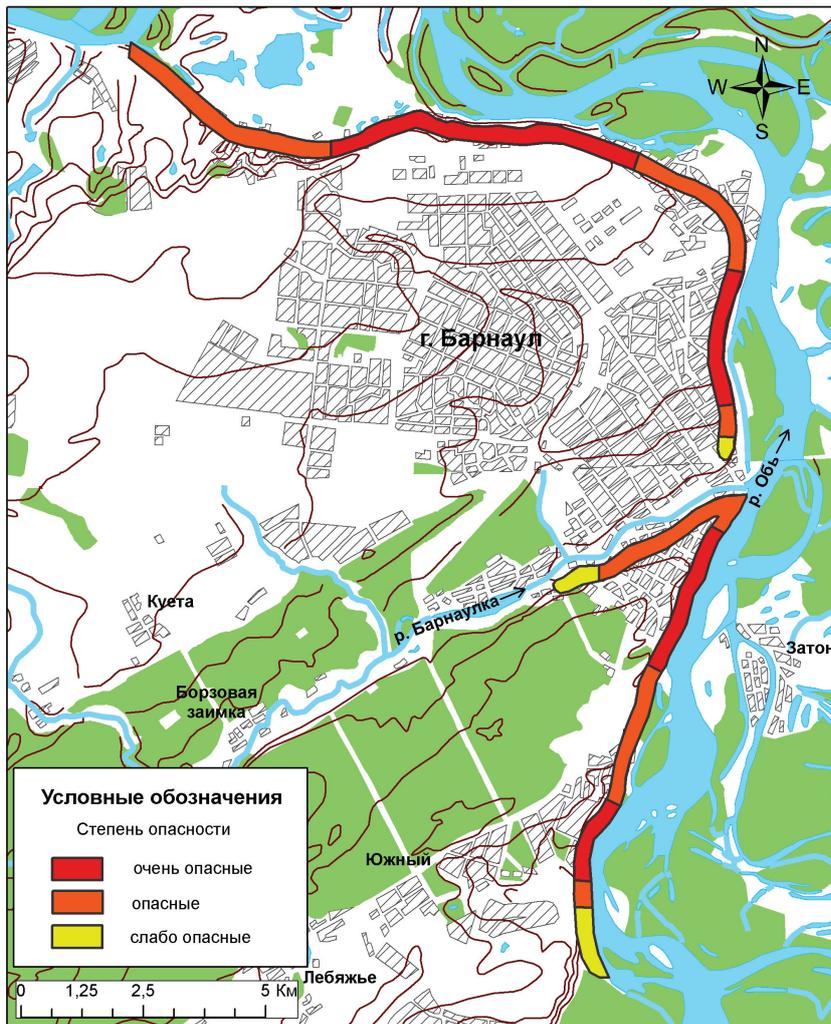


Рисунок. Картограмма оценки степени оползневой опасности береговых склонов в черте города Барнаула

Figure. Landslide hazard map for assessing sloping shoreline of Barnaul

экономическом ущербе, нанесенном городу и его жителям.

Развитие оползневых процессов на территории г. Барнаула во многом зависит от сочетания её геологического строения и рельефа, режима осадков, подземных вод, действия русла реки Оби и антропогенной нагрузки, имеющие тенденцию расширения масштабов развития со временем.

Проведенные исследования показали, что при анализе нескольких оползнеобразующих факторов, параметры которых выражены в различных размерностях, прогноз оползневой опасности, возможно, осуществлять, используя метод полукваликативной оценки.

На основе проведенной оценки степени оползневой опасности нами выделены участки береговых склонов с различной степенью оползневой опасности.

По результатам проведенного исследования, с использованием данных многолетних наблюдений

оползневой станции, нами выделены очень опасные участки, где ежегодно фиксируются оползнепроявления. На этих участках следует вести более детальные наблюдения за состоянием берегового склона и за факторами проявления оползнеобразующих процессов для своевременного предотвращения катастрофы.

Для более детального наблюдения возможно использование свободно распространяемых данных космической съемки высокого разрешения для определения отдельных параметров оползней: изменение положения бровки оползневого склона, подсчет площади поверхностей сползших блоков. Дистанционное зондирование существенно дополнит данные наземных наблюдений, особенно в случаях, когда наземная съемка оползневой цирка затруднена по каким-либо причинам [10].

Полученные результаты могут быть использованы при планировании хозяйственной деятельности и защитных мероприятий в прибрежной части береговых склонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2006 год. – Боровиха, 2006. – 11 с.
2. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2007 год. – Боровиха, 2007. – 19 с.
3. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2008 год. – Боровиха, 2008. – 28 с.
4. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2009 год. – Боровиха, 2009. – 24 с.
5. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2010 год. – Боровиха, 2010. – 21 с.
6. Швецов А.Я., Осьмушкин В.С. Основные тенденции и прогноз развитие опасных геологических и геотехнических процессов в г. Барнауле. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. – 41 с.
7. Швецов А.Я., Осьмушкин В.С. Техногенное воздействие на развитие опасных природных процессов // Строительный комплекс и градостроительство, в свете выполнения национального проекта «Доступное комфортное жилье – гражданам России». – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – С. 104–106.
8. Осипов В.И., Молодых И.И., Швецов Г.И. Деформируемость лессовых пород на урбанизированных территориях приобского плато // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – 2000. – № 1. – С. 52–67.
9. Барнаул. Научно-справочный атлас. – Новосибирск: ФГУП «ПО Инжгеодезия» Роскартография, 2006. – 100 с.
10. Сотников П.В. Динамика развития гравитационных процессов г. Барнаула // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Междунар. Симпозиума. – Томск, 2016. – С. 594–596.
11. Информационная сводка о проявлении экзогенных процессов на территории Алтайского края за 2011 год. – Боровиха, 2011. – 31 с.
12. Спасская К.А. Критерии выбора варианта направления трассы железно дороги, учитывающее развитие оползневых процессов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – Вып. 3. – С. 1–11. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN314.pdf> (дата обращения: 15.11.2016).
13. Pinggen Z., Leihua Y. Landslide hazard early warning system in China and Future trends // IAEG. – 2006. – № 805. – P. 1–5.
14. ОДМ 218.2.030–2013. Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах. – М.: Росавтодор, 2014. – 75 с.
15. Латыпов А.И., Жаркова Н.И., Нуриев И.С. Моделирование развития оползневых процессов для прогноза оползневой опасности на территории горнолыжного комплекса «Казань» и г. Иннополис // Ученые записки Казанского Университета. Естественные науки. – 2014. – Т. 156. – Кн 1. – С. 148–162.
16. Латыпов А.И., Жаркова Н.И. Оценка оползневой опасности на территории строящегося города Иннополис (Татарстан) для организации системы геодинамического мониторинга // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11. – С. 56–59.
17. Capabilities of continuous and discontinuous modeling of a complex, structurally controlled landslide / G. Bossi, L. Zabuski, A. Pasuto, G. Marcato // Geotech. Geol. Eng. – 2016. – № 34. – P. 1677–1686.
18. Barla M., Piovano G., Grasselli G. Rock slide simulation with the combined finite-discrete element method // Int. J. Geomech. – 2012. – № 12. – P. 711–721.
19. Eberhardt E. From cause to effect: using numerical modeling to understand rock slope instability mechanisms // Landslides from massive rock slope failure. – Netherlands: Springer, 2006. – P. 85–101.
20. Jing L. A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modeling for rock mechanics and rock engineering // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. – 2003. – № 40. – P. 283–353.
21. Geological model of the Aknes rockslide, western Norway / G.V. Ganerod et al. // Eng. Geol. – 2008. – № 102. – P. 1–18.
22. Sturny R.A., Brundl M. Bayesian Networks for Assessing the Reliability of a Glacier Lake Warning System in Switzerland // Interpraevent 2014 in the Pacific Rim // Eds. M. Fujita et al. – Nara, Japan, 2014. – P. 212–213.
23. Hungr O., Evans S. The occurrence and classification of massive rock slope failure // Felsbau. – 2004. – № 22. – P. 16–23.
24. Lacasse S., Eidsvik U., Nadim F. Event tree analysis of Aknes rock slide hazard // 4th Canadian conference on geohazards. – Quebec: Universite Laval, 2008. – P. 20–24.
25. Loew S., Gischig V., Moore J. Monitoring of potentially catastrophic rockslides // Proc. of 11th Int. and 2nd North Am. Symp. on Landslides and Engineered Slopes. – Banff, Canada, 2012. – P. 101–116.
26. Sättele M., Krautblatter M., Straub D. Forecasting rock slope failure: how reliable and effective are warning systems? // Landslides. – 2016. – № 13. – P. 737–750.
27. Petley D. On the initiation of large rockslides: perspectives from a new analysis of the Vaiont movement record // Landslides from Massive Rock Slope Failure. – Netherlands: Springer, 2006. – P. 77–84.
28. Petley D., Higuchi T., Dunning S. A new model for the development of movement in progressive landslides // International conference on landslide risk management. – Vancouver: Taylor & Francis Ltd., 2005. – P. 350–358.
29. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ред. Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС). – М.: Стройиздат, 1984. – 80 с.
30. Сводный отчет оползневой станции по стационарным наблюдениям за геодинамическими (оползневыми) процессами р. Обь в г. Барнауле за 1974–1984 гг. / В.Г. Бородавко, В.Н. Шелеметьев и др. – Новокузнецк, 1990. – Кн. 1. – 264 с.

Поступила 15.05.2017 г.

Информация об авторах

Семикина С.С., кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и геоэкологии Географического факультета Алтайского государственного университета.

Сотников П.В., инженер геолог ООО «Барнаулстройизыскания».

UDC 551.4 (571.150)

ASSESSMENT OF LANDSLIDE HAZARD OF THE SLOPING SHORELINE ON THE TERRITORY OF BARNAUL

Svetlana S. Semikina¹,
swetik315@mail.ru

Petr V. Sotnikov²,
sotnikov.pet@yandex.ru

¹ Altai State University,
61a, Lenin avenue, Barnaul, 656049, Russia.

² LLC «BarnaulStrojIzyskaniya»,
281b, Chernyshevskogo street, Barnaul, 656049, Russia.

Relevance of the research is caused by active landslide processes on the territory of Barnaul. Among all gravity processes, irrespective of their origin, landsliding affects most of all stability of geosystems, economic activities, industrial and infrastructure facilities. Several large-scale landslides causing considerable economic losses and deaths have punctuated the city's history. As a result of urban development and the increasing industrial impact on the shoreline areas there is a growing demand for hazard analysis of the sloping shoreline and identifying the sites within landslide hazard zoning of the city which should be given prime attention and monitored under the influence of anthropogenic activities.

Aim of the work is to carry out landslide hazard assessment of the sloping shoreline on the territory of Barnaul.

Research methods: logic analysis, collecting factual material for the entire period of landslide observation, field surveys for detecting the most geologically active areas and reasons for the development of hazardous geological processes, semi-quantitative method of landslide hazard assessment.

Results. Applying a semi-quantitative method of landslide hazard assessment for establishing the probability of landsliding, depending upon the specific nature of the impact and grading it by points, the authors have designed a landslide hazard map for the sloping shoreline of Barnaul. Landslide hazard assessment is carried out on the basis of the presented map. The sites within landslide hazard zoning of the city are identified and characterized with varying degrees of risks. The given results can be applicable to economic planning activities and protection policies management in the areas of sloping shoreline.

Key words:

Sloping shoreline, process, landslide, assessment, hazard.

REFERENCES

1. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2006 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2006]. Borovikha, 2006. 11 p.
2. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2007 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2007]. Borovikha, 2007. 19 p.
3. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2008 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2008]. Borovikha, 2008. 18 p.
4. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2009 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2009]. Borovikha, 2009. 24 p.
5. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2010 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2010]. Borovikha, 2010. 21 p.
6. Shvetsov A. Ya., Osmushkin V. S. *Osnovnye tendentsii i prognoz razvitiya opasnykh geologicheskikh i geotekhnicheskikh protsessov v g. Barnaukt* [The main trends and forecast of the development of hazardous geological and geotechnical processes in Barnaul]. Barnaul, AltSTU Publ., 2008. 41 p.
7. Shvetsov A. Ya., Osmushkin V. S. *Tekhnogennoe vozdeystvie na razvitie opasnykh prirodnykh protsessov* [Technogenic impact on development of hazardous natural processes]. *Stroitelny kompleks i gradostroitelstvo, v svete vypolneniya natsionalnogo proekta «Dostupnoe komfortnoe zhile – grazhdanam Rossii»* [Construction sector and town planning, in the framework of the national project «Affordable and comfortable housing to the citizens of Russia»]. Barnaul, AltSTU Publ., 2008. pp. 104–106.
8. Osipov V. I., Molodykh I. I., Shvetsov G. I. *Deformiruemost lessovykh porod na urbanizirovannykh territoriyakh priobskogo plato* [Deformability of loess rocks in urban territories of Priobskoye plateau]. *Bulletin Altai State Technical University*, 2000, no. 1, pp. 52–67.
9. *Barnaul. Nauchno-spravochnyy atlas* [Atlas of Barnaul city]. Novosibirsk, «PO Inzhgeodeziya» Roskartografiya Publ., 2006. 100 p.
10. Sotnikov P. V. *Dinamika razvitiya gravitatsionnykh protsessov g. Barnaula* [Dynamics of development of gravitational processes in Barnaul]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: Trudy XX Mezhdunarodnogo Simpoziuma* [Problems of geology and subsurface development: Proc. 20th Int. Symp.]. Tomsk, 2016. pp. 594–596.
11. *Informatsionnaya svodka o proyavlenii ekzogennykh protsessov na territorii Altayskogo kraya za 2011 god* [Summary information on exogenous processes manifestation on the territory of Altai for 2011]. Borovikha, 2011. 31 p.
12. Spasskaya K. A. *Criteria for selecting the direction of the railway, based on landslide dynamics*. *Naukovedenie*, 2014, Iss. 3, pp. 1–11. In Rus. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN314.pdf> (accessed: 15 November 2016).
13. Pinggen Z., Leihua Y. *Landslide hazard early warning system in China and Future trends*. *IAEG*, 2006, no. 805, pp. 1–5.

14. ODM 218.2.030–2013. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke opolznevoy opasnosti na avtomobilnykh dorogax* [Branch road methodological document 218.2.030–2013. Guidelines for the assessment of landslide hazard on the roads]. Moscow, Rosavtodor Publ., 2014. 75 p.
15. Latypov A.I., Zharkova N.I., Nuriev I.S. Modeling landslide processes for forecasting landslide hazard within the territory of «Kazan» ski complex and city of Innopolis. *Uchenye zapiski Kazanskogo Universiteta. Estestvennye nauki*, 2014, vol. 156, Iss. 1, pp. 148–162. In Rus.
16. Latypov A.I., Zharkova N.I. Otsenka opolznevoy opasnosti na territorii stroyashchegosya goroda Innopolis (Tatarstan) dlya organizatsii sistemy geodinamicheskogo monitoringa [Assessment of landslide hazard in the territory of the constructed city of Innopolis (Tatarstan) for geodynamic monitoring]. *Inzhenernyye izyskaniya*, 2013, no. 10–11, pp. 56–59.
17. Bossi G., Zabuski L., Pasuto A., Marcato G. Capabilities of continuous and Discontinuous modeling of a complex, structurally controlled landslide. *Geotech. Geol. Eng.*, 2016, no. 34, pp. 1677–1686.
18. Barla M., Piovano G., Grasselli G. Rock slide simulation with the combined finite-discrete element method. *Int. J. Geomech.*, 2012, no. 12, pp. 711–721.
19. Eberhardt E. From cause to effect: using numerical modeling to understand rock slope instability mechanisms. *Landslides from massive rock slope failure*. Netherlands, Springer, 2006. pp. 85–101.
20. Jing L. A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modeling for rock mechanics and rock engineering. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 2003, no. 40, pp. 283–353.
21. Ganerod G.V. Geological model of the Aknes rockslide, western Norway. *Eng. Geol.*, 2008, no. 102, pp. 1–18.
22. Sturny R.A., Brundl M. Bayesian Networks for Assessing the Reliability of a Glacier Lake Warning System in Switzerland. *Interpraevent 2014 in the Pacific Rim*. Nara, Japan, 2014. Ed. by M. Fujita. pp. 212–213.
23. Hungr O., Evans S. The occurrence and classification of massive rock slope failure. *Felsbau*, 2004, no. 22, pp. 16–23.
24. Lacasse S., Eidsvik U., Nadim F. Event tree analysis of Aknes rock slide hazard. *4th Canadian conference on geohazards*. Quebec, Universite Laval, 2008. pp. 20–24.
25. Loew S., Gisichig V., Moore J. Monitoring of potentially catastrophic rockslides. *Proc. of 11th Int. and 2nd North Am. Symp. on Landslides and Engineered Slopes*. Banff, Canada, 2012. pp. 101–116.
26. Sättele M., Krautblatter M., Straub D. Forecasting rock slope failure: how reliable and effective era warning systems? *Landslides*, 2016, no. 13, pp. 737–750.
27. Petley D. On the initiation of large rockslides: perspectives from a new analysis of the Vaiont movement record. *Landslides from Massive Rock Slope Failure*. Netherlands, Springer, 2006. pp. 77–84.
28. Petley D., Higuchi T., Dunning S. A new model for the development of movement in progressive landslides. *International conference on landslide risk management*. Vancouver, Taylor & Francis Ltd., 2005. pp. 350–358.
29. *Rekomendatsii po kolichestvennoy otsenke ustoychivosti opolznevyykh sklonov. Red proizvodstvennogo i nauchno-issledovatel'skogo instituta po inzhenernym izyskaniyam v stroitelstve* [Recommendations for quantification of landslide slope stability] (PNIIS). Moscow, Stroyizdat Publ., 1984. 80 p.
30. Borodavko V.G. *Svodny ochet opolznevoy stantsii po statsionarnym nablyudeniyam za geodinamicheskimi (opolznevymi) protsesami r. Ob v g. Barnaule za 1974–1984 gg.* [Summary report of landslide station static geodynamic observations for the river Ob in Barnaul city for 1974–1984]. Novokuznetsk, 1990. Vol. 1, 264 p.

Received: 15 May 2017.

Information about the authors

Svetlana S. Semikina, Cand. Sc., associate professor, Altai State University.

Petr V. Sotnikov, engineering geologist, LLC «BarnaulStrojIzyskaniya».