

УДК 913 (551.4.3)

Новиков А. А.¹
Игнатов Е. И.²
Исаев В. С.³
Горшков Е. И.⁴
Каширина Е. С.⁵

Оценка геоэкологических рисков урбанизированных прибрежных территорий

¹Филиал МГУ имени М. В. Ломоносова в Севастополе,
Российская Федерация, г. Севастополь
e-mail: ¹a_novik@bk.ru; ⁵e_katerina.05@mail.ru

²Московский государственный университет имени
М. В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва
e-mail: ²ign38@mail.ru; ³tpomed@rambler.ru

³ООО «Современные геотехнологии», Российская
Федерация, г. Москва
e-mail: ⁴e.i.gorshkov@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены рекомендуемые показатели оценки геоэкологических рисков урбанизированных прибрежных территорий на примере административной территории города Севастополя. Определено, что особенности рельефа являются ведущим критерием геоэкологических рисков. Для территории Севастопольского региона выделены участки потенциального геоэкологического риска.

Ключевые слова: геоэкология, природный риск, оценка, ГИС-технологии, Севастополь, Крым.

Введение

Отличительной особенностью географического положения города Севастополя является его выход к морю и наличие протяженной (более 150 км) береговой линии. Берега – изрезанные, с многочисленными бухтами, что создает благоприятные условия для строительства, расселения и создания инфраструктуры. Как результат – большая часть населения и инфраструктуры города тяготеют к берегу, что создает повышенную антропогенную нагрузку в узкой прибрежной полосе и вызывает геоэкологические риски.

Особую угрозу и трудности освоения территории и социально-экономического развития Севастополя представляет сложность геологического строения региона. Опасные геолого-геоморфологические процессы и расширяющийся антропогенный пресс усугубляют в значительной степени геоэкологическую обстановку города и Севастопольского региона в целом [1]. Мощные выходы на дневную поверхность закарстованных известняков и изобилие скрытой разломно-тектонической трещиноватости создают дополнительные трудности для избирательного расширения градостроительства и обеспечения устойчивого безопасного развития севастопольского социума.

В этих условиях одной из главных задач территориального развития города становится оценка геоэкологического риска, которая является специальным видом проектно-изыскательской деятельности, направленной на обеспечение безопасности населения, объектов хозяйства и окружающей природной среды.

Материалы и методы

Для определения критериев геоэкологических рисков урбанизированных прибрежных территорий рассмотрен характерный участок в административных границах города Севастополя.

С помощью морфометрического анализа были рассчитаны основные количественные (уклоны, экспозиция, кривизна, индекс расчлененности и др.) и качественные (генетические формы) характеристики рельефа. Сопоставление этих параметров с инженерно-геологической картой г. Севастополя позволило выделить районы развития основных опасных геолого-геоморфологических процессов.

Современные ГИС-технологии позволяют провести комплексный морфометрический анализ, используя цифровые модели рельефа (ЦМР). В качестве топографической основы была выбрана глобальная цифровая модель рельефа ASTER GTOPO M2 с разрешением 30 м/пикс., обрезанная по административной границе г. Севастополя. С помощью ГИС SAGA и QGIS были проанализированы следующие параметры рельефа: углы наклона и экспозиции склонов, густота горизонтального расчленения рельефа, глубина эрозионного расчленения, индекс конвергенции рельефа, топографический индекс влажности, кривизна поверхности, LS-фактор [2], коэффициент денудации/аккумуляции, выделены элементы эрозионной сети и области замкнутых понижений. Результаты расчетов представлены в виде отдельных растровых карт. Впоследствии все расчетные характеристики были перенесены на векторный слой, представляющий собой регулярную сетку с размером ячеек около 4 км².

Дальнейшее выделение зон опасных геолого-геоморфологических процессов являлось результатом выборки ячеек сетки по атрибутивным данным из набора слоев инженерно-геологической карты и карты морфометрических характеристик рельефа. Подбор характеристик, необходимых для комбинации, осуществлялся на основе ранее разработанной таблицы пороговых значений развития тех или иных опасных процессов.

Окончательное районирование территории основано на сопоставлении зон опасных геолого-геоморфологических процессов с картой форм рельефа, полученной в результате автоматической классификации той же самой ЦМР. Данная классификация основана на расчете топографического индекса превышения (Topographic Position Index, TPI) [3; 4], который показывает, на сколько высота искомой ячейки ЦМР больше (меньше) по сравнению со средней высотой соседних ячеек. Сравнение результатов обработки ЦМР сразу для двух масштабных уровней (радиусов окрестности) дает возможность получить на одной карте сразу несколько размерностей рельефа, генетически связанных между собой. Специфика данного района исследования заключается в том, что на относительно небольшой территории встречаются как горные, так и равнинные области с развитой овражно-балочной сетью, отличающиеся друг от друга масштабами вертикального расчленения. Классификация рельефа проводилась в среде ГИС SAGA (модуль Landform Classification) с последующей статистической обработкой в QGIS.

Результаты и обсуждение

Особенности геологического строения определяют специфику протекания природных геолого-геоморфологических процессов. Территория города

Севастополя располагается в пределах двух крупных структурно-формационных зон – юго-западного синклинория и северо-западного крыла мегантиклинория Горного Крыма, разделенных Фиолентским разломом (взбросом) глубокого заложения, представляющего собой краевую часть Крымского глубинного разлома. Ширина зоны дробления Крымского глубинного разлома, имеющего северо-восточное простирание, достигает 10 км. Фрагмент сложно геологически построенного юго-западного синклинория представлен Балаклавским блоком и примыкающей к нему с севера наложенной Карагачской депрессией, приуроченной к зоне Бечку-Карагачского разлома. Балаклавский блок, представляющий собой западную часть Балаклавской грабен-синклинали, крылья которой разбиты серией субвертикальных разломов, с амплитудой вертикальных подвижек порядка первых десятков метров.

Северо-западное крыло мегантиклинория в пределах территории представлено Гераклеиско-Мекензиевской моноклиной, подразделяющейся на Гераклеиский вулcano-тектонический блок и Мекензиевскую моноклину (моноклину Мекензиевых гор), представляющую собой часть южного борта Альминской впадины. Отдельно обособливается сложный тектонический узел в Инкерманской долине, образованный пересечением молодых разрывных нарушений широтного, северо-западного и северо-восточного простирания.

Тектоническая граница между Гераклеиским вулcano-тектоническим блоком и Мекензиевской моноклиной проводится по грабену Северной бухты. Грабен Северной бухты ограничен субширотными сбросами в виде серий разломов с амплитудой 10–15 м, формирующих зоны тектонического дробления. Сброс, ограничивающий грабен Северной бухты с севера, прослеживается на водоразделе между балками Мартыновской и Цыганской, где зона разлома вскрыта карьером в виде брекчии известняков, затертая в зоне дробления среди четвертичных суглинков, указывая на современную тектоническую активность по разлому.

Мекензиевская моноклина представляет собой геологически просто построенную платформенную структуру, в строении которой, в частности, принимают участие карстующиеся известняки и мергели, а также просадочные пылеватые суглинки. Отложения залегают полого с падением в северо-западном направлении.

Гераклеиский вулcano-тектонический блок формирует Гераклеиское плато. В строении блока принимают участие породы вулcanoгенной (спилит-кератофировой) среднеюрской формации, перекрытые чехлом терригенно-карбонатных отложений миоцена. Ведущая роль в Гераклеиском блоке играют разрывные нарушения, сбросового и сбросо-сдвигового типа, северо-западного и северо-восточного простирания (Херсонесская система разломов, Западный разлом, Севастопольский разлом, Фиолентский разлом и др.), хорошо выделяющиеся геофизическими методами, а в скважинах представленные зонами тектонических брекчий мощностью 5–10 м.

Среди перечисленных тектонических нарушений следует отметить Севастопольский разлом (левый взбросо-сдвиг с крутым юго-восточным падением), протягивающийся от района маяка к северо-востоку через слияние Монастырской и Юхариной балок, деформирует балку Сарандинаки (что указывает на современную активность) и уходит, разветвляясь, в сторону Северной бухты. Фиолентский разлом (взброс) проходит параллельно Севастопольскому в 2 км юго-восточнее, прослежен от берега моря к северо-востоку через слияние балок

Монастырской и Солты, через Французское кладбище и далее в район высоты 199,9 м. Амплитуда смещения по разлому в покровных отложениях достигает 20–30 м. Дислоцированность четвертичных отложений указывает на современную тектоническую активность.

Геологическими методами, бурением, геофизическими работами также прослежены Карантинный разлом (от пос. Золотая балка на северо-восток в сторону Стрелецкой бухты), Флотский разлом (от окрестностей с. Флотское до бухты Круглая), Монастырский разлом (всбросо-сдвиг с амплитудой до 20 м, прослеживаемый от Монастырской балки до Камышевой бухты) [5; 6; 7].

Особенности развития современных опасных геолого-геоморфологических процессов влияют на масштаб и интенсивность геоэкологических рисков. Инженерно-геологические условия территории города Севастополя благоприятны для развития следующих опасных природных процессов:

- оползневых и других склоновых (обвальных, осыпных) процессов;
- карстовых и карстово-суффозионных процессов;
- абразионных процессов в прибрежной зоне.

Ввиду сложного тектонического строения территории весь город Севастополь отнесен к сейсмоопасной зоне. Основную сейсмическую опасность представляют сильные движения грунта от землетрясений, генерируемых двумя крупными геологическими структурами: Южнобережным и Одесско-Синопским глубинными разломами. В Северной и Южной береговой части территории распространены оползневые, оползнево-обвальные и суффозионные процессы, фиксируется активная береговая абразия.

По данным Кадастра оползней Крыма на рассматриваемой территории располагается 20 оползневых участков. По данным КП «Южэкогеоцентр» на территории г. Севастополя располагается 110 обвалоопасных участка, из которых 11 участков находятся в активном состоянии (в прибрежной зоне – № 126 «Балаклавский», № 911 «Качинский 1», № 918 «Большой Любимовский», № 919 «Качинский», с. Кача, № 921 «Учкуевский», № 941 «Коса Северная 2», № 948 «Коса Северная 3», № 949 «Коса Северная 4», № 1071 «Подольцевский», № 1666 «Фиолент Заповедник 2», вне прибрежной зоны – № 1602 «26-и км автодороге Севастополь-Ялта»). По другим опубликованным данным количество оползневых участков на территории г. Севастополя составляет порядка 120 [1]. На основе морфометрического анализа рельефа и особенностей подстилающих пород нами выделены районы риска развития оползней (рис. 1).

На картосхеме видно, что овражно-балочный рельеф Гераклеийского полуострова способствует развитию оползней под городской застройкой. Высокий риск развития оползней отмечен также для горных и прибрежных районов.

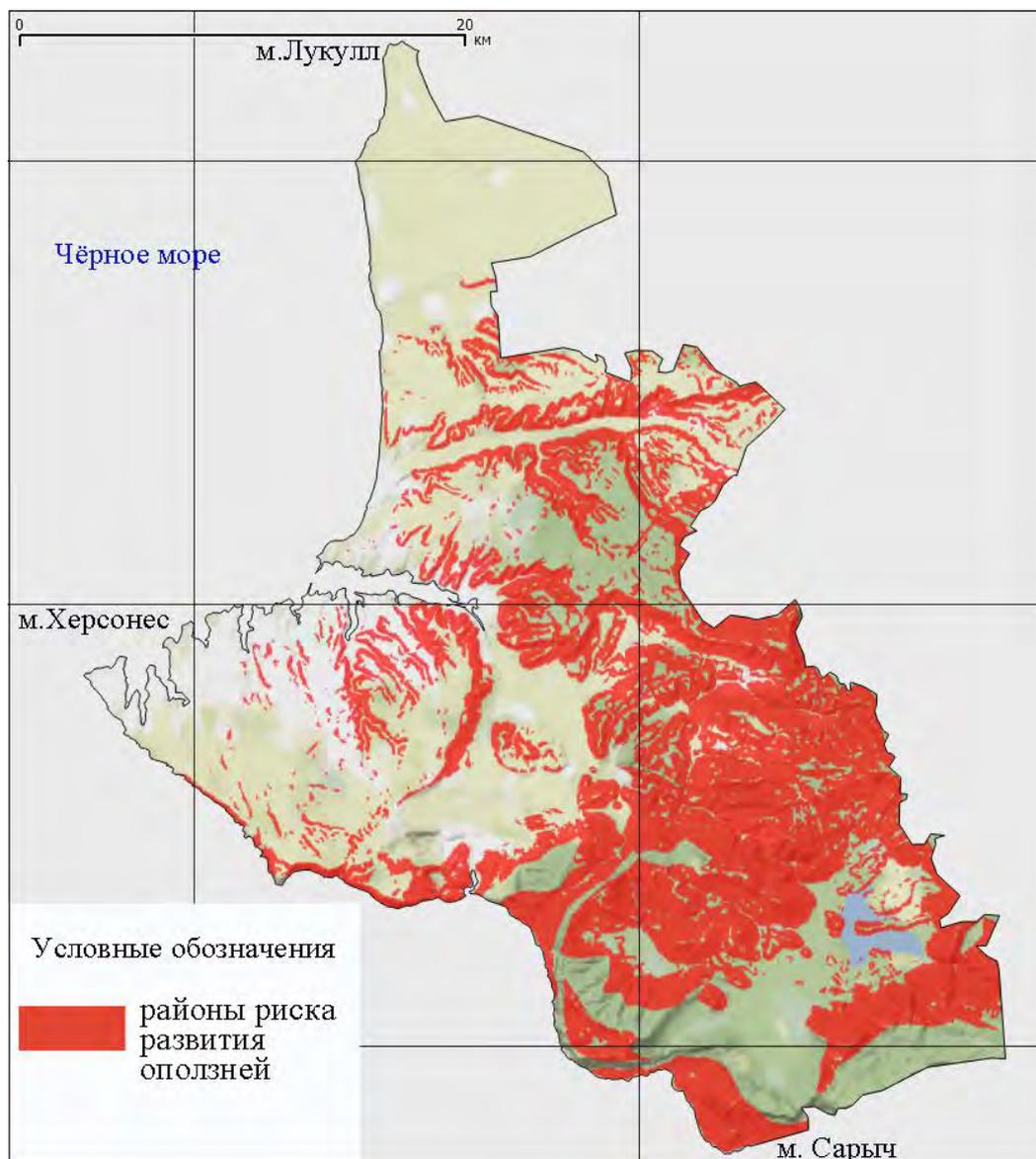


Рис. 1. Районы риска развития оползней в административных границах г. Севастополя. Составлено авторами

Несмотря на то, что на рассматриваемой территории ранее был выделен Севастопольский карстовый район, для которого характерны карстовые формы, представленные гротами, небольшими наклонными и субгоризонтальными пещерами карстового и карстово-гравитационного генезиса, в настоящее время сведения о пораженности территории города Севастополя карстовыми и карстово-суффозионными процессами носят отрывочный характер. Необходимо отметить, что в юго-восточной части в районе урочища Карадагский лес, характеризующейся расчлененным рельефом, ярко выражены карстовые формы рельефа с воронками и провалами. В ряде случаев отмечены проявления карстовых и карстово-суффозионных процессов среди жилой застройки города.

Анализ распространения карстующихся горных пород позволил локализовать районы риска развития карста и суффозии в Севастополе (рис. 2).

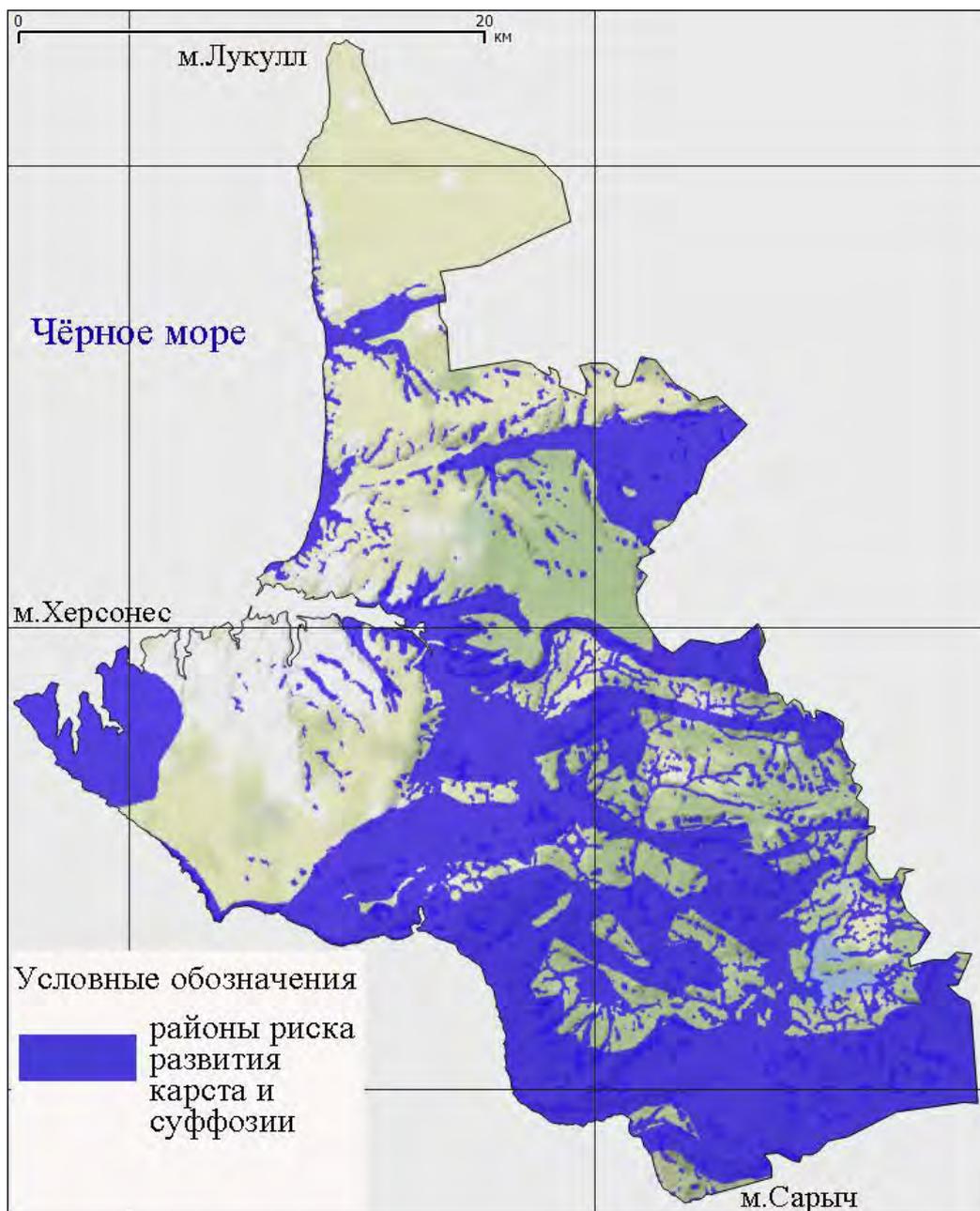


Рис. 2. Районы риска развития карста и суффозии в административных границах Севастополя. *Составлено авторами*

Карстово-суффозионные процессы широко распространены на территории города. Особую опасность представляет карст и суффозия в прибрежной полосе Северной стороны города, в районе бухт Казачья и Камышовая.

В настоящее время активное абразионное разрушение береговой зоны происходит севернее Севастопольской бухты, где скорость развития абразии составляет в среднем 1,4 м/год, а для отдельных участков – до 5 м/год (пляж Орловка, участки на пляже Учкучевка). Высокие скорости отступления береговой линии связаны, в том числе, с активным разрушением берега оползневыми процессами (амплитуда резкого отступления бровки оползневого цирка на Большом

Любимовском оползне (в южной части аэропорта Бельбек) во время активизации оползня в начале 1990-х годов, составила около 100 м). В то же время для отдельных участков (в зонах устьев рек) отмечалось рост пляжной зоны со скоростью до 2 м/год [1].

Сопряженный анализ распространения опасных процессов позволил выделить районы высокого геоэкологического риска (рис. 3).

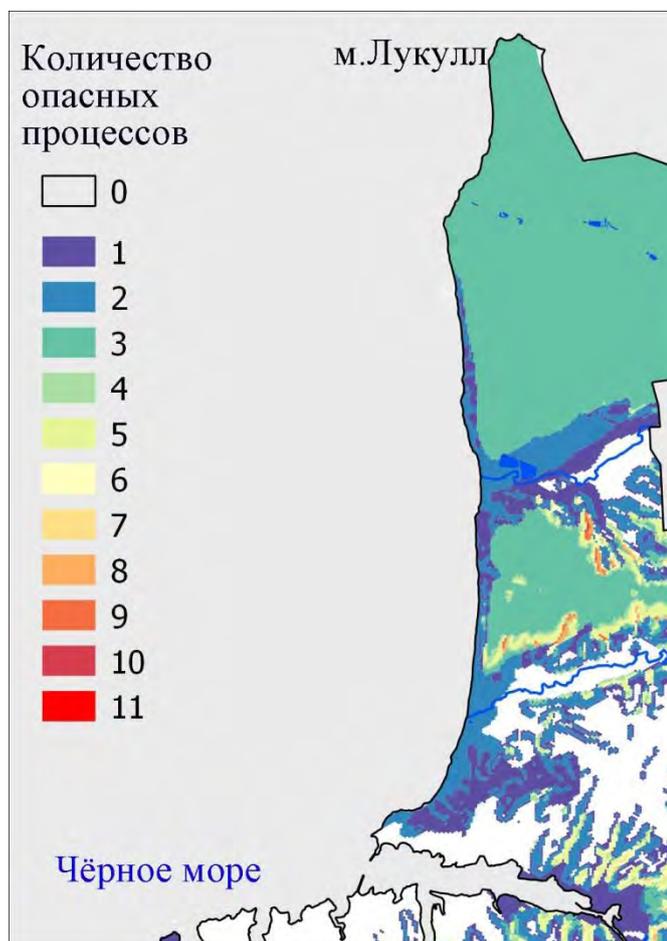


Рис. 3. Оценка геоэкологических рисков территории Севастополя на основе количественных показателей развития опасных природных процессов (фрагмент).

Составлено авторами

Максимальная концентрация участков развития опасных и неблагоприятных геологических процессов и явлений отмечается в прибрежной зоне в южной части города, где сосредоточены оползни, обвалы, сели, абразия, карст. Дополнительную угрозу представляет антропогенная деятельность, вызывающая активизацию природных процессов.

Особенности рельефа Севастопольского региона способствуют широкому распространению опасных природных процессов. Анализ распределения форм рельефа г. Севастополя показал, что 48 % территории приходится на субгоризонтальные поверхности равнин и возвышенностей, около 25 % занимают пологие склоны и днища крупных речных долин и межгорных котловин, на

элементы овражно-балочной сети (овраги, каньоны, неглубокие балки) приходится 13 % территории города, 14 % занято главными водоразделами и вершинами отдельных хребтов. Одновременно рельеф накладывает ограничения на развитие городской среды.

Выводы

Современные методы автоматической классификации рельефа позволяют получать его количественные и качественные характеристики любой сложности и размерности. Представленный алгоритм может быть использован для изучения рельефа в масштабе крупных городов. Вместе с тем алгоритм недостаточно четко идентифицирует переходные формы (например, подножия склонов) и сильно чувствителен к качеству исходной цифровой модели рельефа.

На территории Севастополя локализуются различные опасные процессы. Для городской среды ведущее значение имеют обвально-оползневые, карстовые и абразионные процессы. Карстовые и карстово-суффозионные процессы развиты в ареале городской застройки на Гераклеийском полуострове, Байдарской долине и на мысе Фиолент. Оползневые процессы представлены на склонах балок и прибрежных склонах, где они накладываются на процессы абразии берегов.

Заблаговременное осуществление инженерно-технических и других мероприятий будет направлено на уменьшение негативных последствий воздействия опасных геоморфологических и инженерно-геологических процессов и предупреждение природных чрезвычайных ситуаций, обусловленных этими процессами, в Севастопольском регионе.

Работа выполнена при поддержке РРФИ 18-45-920045 p_a

Литература

1. Игнатов Е. И., Новиков А. А., Каширина Е. С., Калиниченко А. В. Природные опасности и показатели риска в Крымском федеральном округе // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2016, №. 2. С. 3–7.
2. Hickey R., 2000, Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. Cartography, V. 29. No. 1. pp. 1–8.
3. Weiss A. D. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, C.A. 2001 [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.jennessent.com/downloads/tpiposter-tnc_18x22.pdf.
4. Черниковский Д. М. Автоматическая классификация поверхности рельефа для изучения количественных и качественных характеристик лесов. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 219. С. 74–95.
5. Славин В. И. Современные геологические процессы в юго-западном Крыму. Учебное пособие по геологической практике. Издание второе. - М.: Издательство Московского университета. 1975. 196 с.
6. Муратов М.В. Неогеновая система Крыма. Континентальные отложения. В кн.: Геол. СССР. Т.8. М. 1969. С. 264–271.
7. Никитин М. Ю., Барабошкина Т. А., Барабошкин Е. Ю., Кузнецова А. В. Природно-ресурсный потенциал и транспортная сеть Горного Крыма (от античности до XXI века) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2017. Т. 92. № 6.

Novikov A. A. ¹
Ignatov E. I. ²
Isaev V. S. ³
Gorshkov E. I. ⁴
Kashirina E. S. ⁵

The assessment of geo-ecological risks of urban coastal areas.

¹ Branch of Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Russian Federation, Sevastopol
e-mail: ¹a_novik@bk.ru; ⁵e_katerina.05@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Russian Federation, Moscow, Russia
e-mail: ²ign38@mail.ru; ³tpomed@rambler.ru

³ LLC «Modern geotechnologies», Russian Federation, Moscow
e-mail: ⁴e.i.gorshkov@yandex.ru

Abstract. *In the paper the recommended indicators for assessing the geoeological risks of urban coastal areas are given. The administrative territory of the city of Sevastopol was investigated. It is determined that the features of the relief are the leading criterion of geoeological risks. For the territory of the Sevastopol region, areas of potential geoeological risk have been identified.*

Key words: *geoeology, natural risk, assessment, GIS-technology, Sevastopol, Crimea*

References

1. Ignatov E. I., Novikov A. A., Kashirina E. S., Kalinichenko A. V. Prirodnye opasnosti i pokazateli riska v Krymskom federalnom okruge // Ispolzovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii. 2016. №2. S. 3-7 (in Russian).
2. Hickey R., 2000, Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. Cartography , v. 29, no. 1, pp. 1 – 8 (in English).
3. Weiss A. D. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, C. A. 2001 [Elektronnyj resurs] - Rezhim dostupa URL: <http://www.jennessent.com>=(in English)
4. Chernihovskij D. M. Avtomaticheskaya klassifikaciya poverhnosti relefa dlya izucheniya kolichestvennyh i kachestvennyh harakteristik lesov // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2017. Vyp. 219. S. 74-95 (in Russian).
5. Slavin V. I. Sovremennye geologicheskie processy v yugo-zapadnom Krymu Uchebnoe posobie po geologicheskoy praktike Izdanie vtoroje. M.: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta. 1975. 196 s. (in Russian).
6. Muratov M. V. Neogenovaya sistema Kryma Kontinentalnye otlozheniya V kn. Geol SSSR T. 8. M.: 1969. S. 264-271 (in Russian).
7. Nikitin M. Yu., Baraboshkina T. A., Baraboshkin E. Yu., Kuznecova A. V. Prirodno-resursnyj potencial i transportnaya set Gornogo Kryma ot antichnosti do XXI veka // Byulleten Moskovskogo obshchestva ispytatelej prirody Otdel geologicheskij. 2017. T. 92. 6. (in Russian).

Поступила в редакцию 20.07.2018 г.