

УДК 502.5/.8

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОКРОВА КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА В КОНТЕКСТЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Кривогуз Д.О, Буртник Д.Н.

Керченский государственный морской технологический университет (Керчь, Россия)

Современное развитие Керченского полуострова тесно связано с масштабным техногенным воздействием, что приводит к существенным изменениям в функционировании природных комплексов. В работе продемонстрирован нейросетевой подход к изучению изменений состояния ландшафтного покрова и приняты попытки его прогнозирования. Моделирование проводилось на основании имеющихся данных о различных компонентах окружающей среды Керченского полуострова и антропогенных факторов, на них воздействующих. Анализ показал значительные изменения в ландшафтной составляющей полуострова, которые потенциально могут привести к ухудшению ситуации с проявлениями склоновых процессов.

**Ключевые слова:** ландшафтный покров, нейронная сеть, моделирование, ГИС, Керченский полуостров, склоновые процессы.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-113-121

### Введение.

Оползневые процессы наряду с другими склоновыми процессами каждый год становятся причиной огромного ущерба не только для экономик отдельных регионов и стран, но и приводят к значительным человеческим жертвам.

Керченский полуостров на данный момент является важным звеном в транспортно-логистической цепи Российской Федерации, что подразумевает под собой бурное развитие данного региона. Сам полуостров, имеет сложное геологическое строение, что наряду с совокупностью таких специфических для него факторов, как сейсмичность, климат, гидрология, антропогенное воздействие и ландшафтный покров, в дальнейшем может привести к значительным сложностям при проектировании и эксплуатации объектов инфраструктуры региона, а также при планировании характера землепользования.

Негативная роль в преобразованиях типов ландшафтного покрова может проявляться в пределах как небольших промежутков, так и в течении длительного времени [2]. Как показано в работах [8, 9, 11], изменение ландшафтного покрова является глобальной проблемой, с которой сталкиваются в любой части планеты, которая может являться причиной множества угроз, в том числе, и проявления оползневых процессов.

### Материалы и методы.

Керченский полуостров (рис. 1) расположен в восточной части Крыма. Протяжен-

ность с запада на восток около 90 км, с севера на юг - от 17 до 50 км. Площадь составляет 2700... 3000 км. Наивысшими точками являются гора Пихбопай, гора Опук, гора Хрони. Керченский полуостров омывается Азовским морем на севере, заливом Сиваш на западе, а также на востоке Керченским проливом, на юге Чёрным морем. В основном все части Керченского полуострова относятся к Ленинскому району Крыма [1, 6, 10].

Северо-восточная часть полуострова является холмистой, сложена преимущественно известняками, глинами и песчаниками. На полуострове множество грязевых вулканов. Равнины и степи характерны для юго-западной части полуострова, которая сложена в основном палеогеновыми глинами [3].

Грядово-волнистые равнины Керченский полуострова связаны с одной стороны сложным строением горного Крыма, а с другой - складчатыми горами большого Кавказа. В пределах Керченского полуострова находится часть общего для горного Крыма и Кавказского предгорного прогиба, являющегося частью скифской платформы [7].

По характеру рельефа и геологическому строению Керченский полуостров можно разделить на несколько частей. Юго-западная часть преимущественно сложена майкопскими глинами, которые образуют слабоволнистую равнину. Рельеф образует многочисленные породы небольших коротких антиклинальных и синклинальных складок. Ядро данных складок состоит преимущественно из

майкопских и сарматских глин. За ним к северу, северо-востоку и востоку простираются мелкие горы и гребни, сложенные неогено-

выми известняками. Они имеют вытянутую форму и небольшую длину.

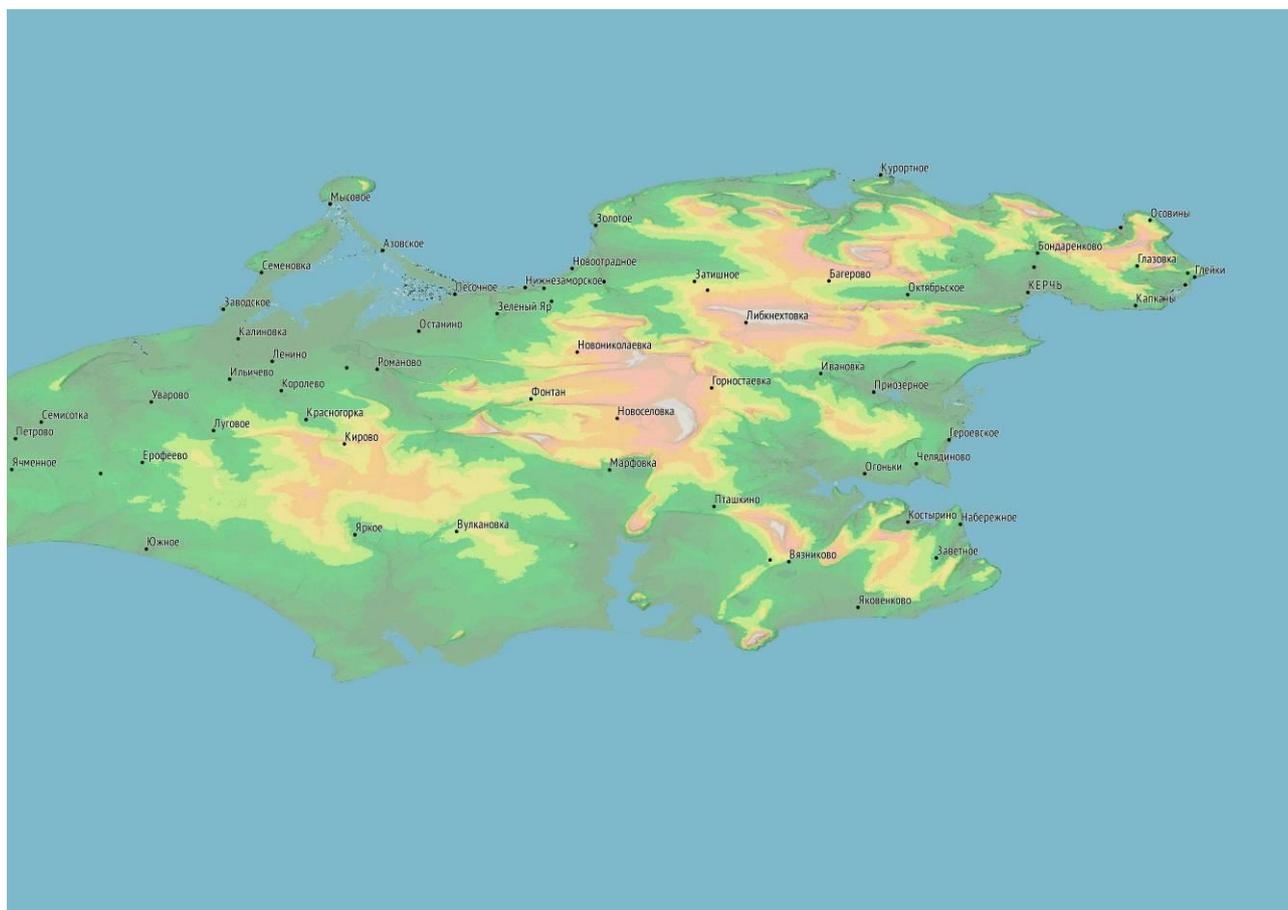


Рис. 1. Керченский полуостров (район исследований)

За ним к северу, северо-востоку и востоку простираются мелкие горы и гребни, сложенные неогеновыми известняками. Они имеют вытянутую форму и небольшую длину.

Керченский полуостров по рельефу можно разделить на две части, разделенные невысоким Парпачским гребнем.

Климат Керченского полуострова определяется географическим положением, а также рельефом. Омывается полуостров Черным и Азовским морями, которые оказывает смягчающее влияние на климат.

Климат данной местности умеренно-континентальный. Он характеризуется обилием солнечной энергии (около 2200 ч/год), а также характеризуется высокими средними летними температурами (до +40 градусов). Средняя температура за январь может составлять -4 градуса. Керченский полуостров характеризуется малым количеством атмосферных осадков (350...450 мм/год). Как

следствие, на полуострове нет рек с постоянным поверхностным стоком [4, 5].

Природные условия Керченского полуострова не способствуют развитию лесной растительности. Для полуострова характерна степная растительность, поэтому заросли кустарников сохранились лишь в труднодоступных местах: на слонах гребней, на балках. Из деревьев встречаются также дикие груши и яблони, реже - дикая вишня.

Общую схему прогнозирования изменений ландшафтного покрова можно представить следующим образом:

1. Получение спутниковых данных района исследований.
2. Выделение классов ландшафтного покрова и классификация спутниковых данных.
3. Выявление участков, подвергшихся изменению. Расчет вероятностей этих изменений.

4. Анализ влияния различных факторов на проявление этих изменений. Получение весовых коэффициентов влияния каждого фактора на процессы изменения ландшафтного покрова.

5. Реклассификация данных в соответствии с полученными весовыми коэффициентами.

6. Объединение данных весовых коэффициентов и данных о начальном состоянии территории в карту возможности появления изменений.

7. Построение матрицы переходов для каждого класса и построение на основании ее и интегральной карты карты будущих состояний среды.

8. Оценка качества полученного прогноза.

Моделирование изменений происходит за счет использования нейронной сети с обратным распространением ошибки. Входными данными для этого шага являются карта изменений и список факторов, предположительно влияющих на вероятность возникновения изменений. Выходными значениями

являются веса факторов, определенные моделью.

Вся выборка делится на две группы:

- обучающая (80 % всех данных);
- тестовая (20 % всех данных).

Период прогноза  $x$  определяется как разница между начальными данными  $N$  и конечными данными  $N+x$ . Таким образом, модель будет прогнозировать симуляцию изменения ландшафтного покрова местности до момента времени  $N+2x$  (период времени при этом определяется любым временным промежутком - от дней до лет) [10].

#### Результаты и обсуждение.

Для прогнозирования изменений ландшафтного покрова использовались спутниковые снимки Landsat-5 и Landsat-8 (LT51760292007199MOR00 и LC81760292015141LGN00). Для классификации снимков были выбраны 5 классов:

1. Водные объекты.
2. Почва, распаханые поля.
3. Трава, низкая растительность.
4. Искусственные объекты.
5. Высокая растительность, деревья, сады.

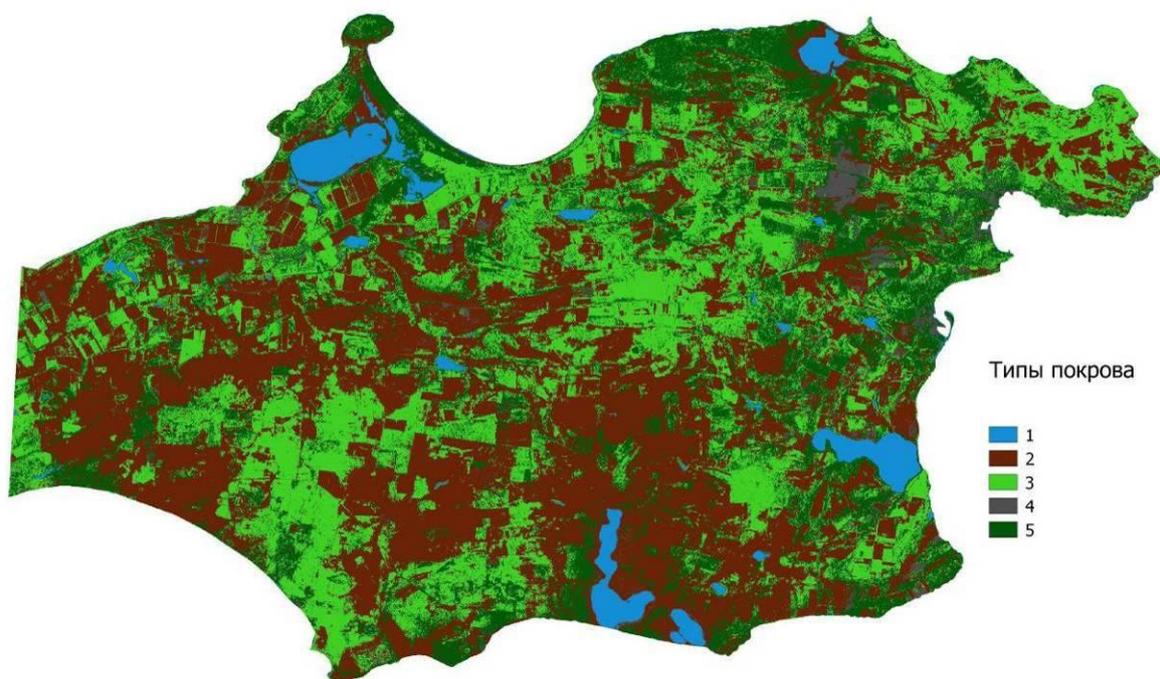


Рис. 2. Ландшафтный покров Керченского полуострова (2007 г.): 1 - водные объекты; 2 - почва, распаханые поля; 3 - трава, низкая растительность; 4 - искусственные объекты; 5 - высокая растительность, деревья, сады

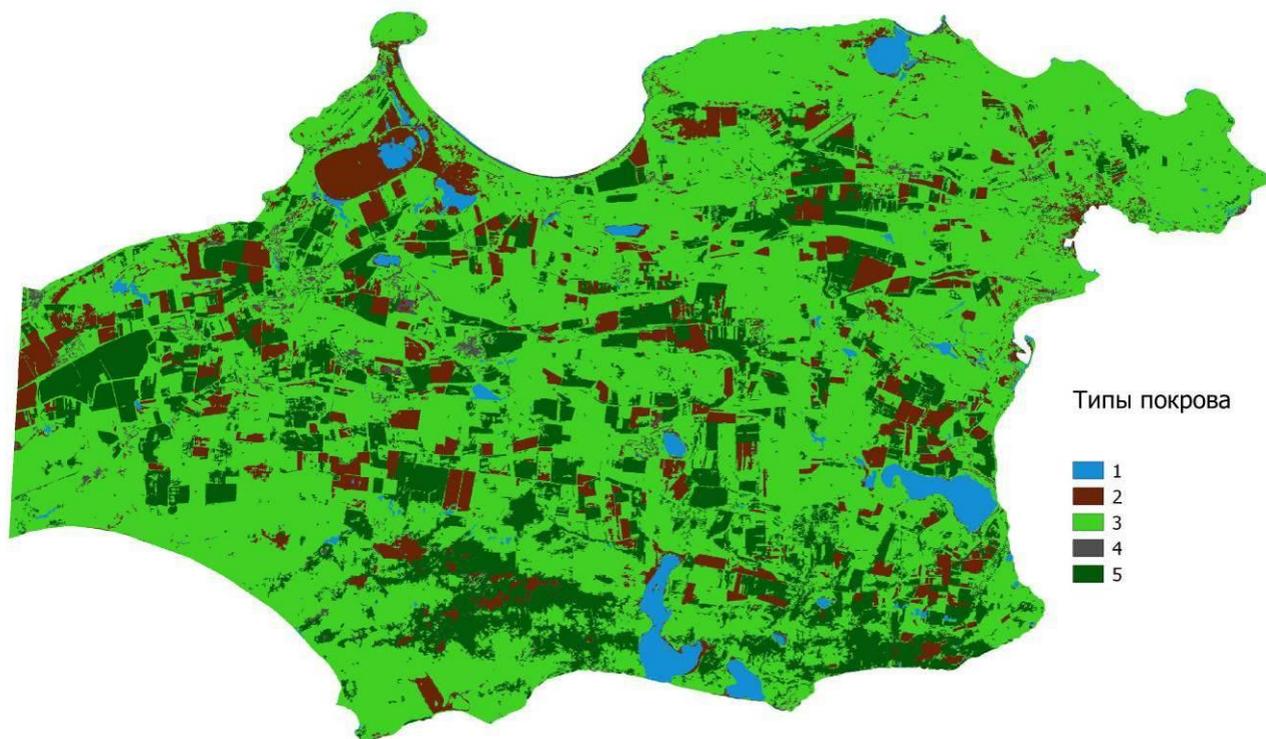


Рис. 3. Ландшафтный покров Керченского полуострова (2015 г.): 1 - водные объекты; 2 - почва, распаханное поля; 3 - трава, низкая растительность; 4 - искусственные объекты; 5 - высокая растительность, деревья, сады

В качестве факторов использовались сведения об инфраструктуре (близость к дорогам), близость к водным объектам, индекс баланса геомасс, данные рельефа, геологические данные и сведения о составе почв, данные о покрове местности (NDVI).

В качестве начальных данных были использованы данные состояния ландшафтного покрова Керченского полуострова за 2007 г., которые сравнивались с соответствующими данными за 2015 г. (рис. 2, 3).

При сравнении этих данных за 2007 г. и 2015 г. можно проследить за изменениями

ландшафта. Выделяется высокая вероятность перехода от высокой растительности к травянистой (0,799), что говорит о возможном изменении в характере землепользования за 8 лет, а также к увеличению скорости обезлесивания (табл. 1). Необходимо отметить высокие уровни перехода практически любого класса к классу травяной растительности. Данный процесс может быть связан как с отсутствием управления на объектах землепользования, так и с активной направленностью на развитие сельского хозяйства.

Таблица 1

Матрица изменения факторов

Факторы	1	2	3	4	5
1	0,605306	0,042195	0,138941	0,213109	0,000448
2	0,001257	0,109631	0,611784	0,026063	0,251265
3	0,001438	0,088025	0,694887	0,016500	0,199149
4	0,044075	0,176929	0,462554	0,150244	0,166198
5	0,004348	0,065509	0,799166	0,010923	0,140054

Таблица 2

Корреляция между факторами, обуславливающими процессы изменения ландшафтного покрова

Факторы	Близость к дорогам	Осадки	Уклон местности	Почва	Близость к водоемам	Индекс баланса геомасс	NDVI
Близость к дорогам	--	0,2535	-0,1341	-0,1139	0,0169	-0,0659	-0,1018
Осадки		--	-0,1663	-0,0924	0,1167	-0,1623	-0,1867
Уклон местности			--	-0,0977	-0,0053	0,1331	0,1879
Почва				--	-0,1574	0,0266	-0,1197
Близость к водоемам					--	0,0101	0,0479
Индекс баланса геомасс						--	0,2615
NDVI							--

Таблица 3

Статистика изменений классов в процентном соотношении

Факторы	2007 км <sup>2</sup>	2015 км <sup>2</sup>	Δ, км <sup>2</sup>	2007%	2015%	Δ%
1	95,12	68,41	-26,71	3,2835	2,3616	-0,9219
2	1188,39	272,63	-915,77	41,023	9,411	-31,6119
3	851,06	1887,33	1036,27	29,3782	65,15	35,7717
4	120,95	90,46	-30,49	4,1751	3,1228	-1,0523
5	641,37	578,06	-63,31	22,14	19,9544	-2,1855

Анализируя факторы, которые потенциально могут повлиять на процессы изменения ландшафтного покрова, можно сказать, что наибольшую положительную корреляцию на данные процессы имеет взаимодействие индекса баланса геомасс и вегетационная активность растительности, а также уровень атмосферных осадков и близость участка к дороге (табл. 2).

В процентном соотношении (табл. 3) изменение коснулось практически всех выделенных классов, кроме водных объектов, так как изменение в 0,9% может быть вызвано сезонными колебаниями озер Чокракское, Акташское и Тобечикское, связанное с обильным выпадением атмосферных осадков и притоком морской воды в них.

Наибольшим изменениям подверглись территории, занятые травянистой растительностью. Их прирост составил около 1000 км<sup>2</sup> или практически треть всей территории полу-

острова. Данный факт может быть вызван как изменениями в уровне выпадения атмосферных осадков, так и изменением в уровне использования земель в сельском хозяйстве. Об этом также говорит и уменьшение территорий с голой или распаханной почвой, площадь изменения которых составила около 900 км<sup>2</sup>.

Для моделирования изменений ландшафтного покрова Керченского полуострова использовалась нейронная сеть с обратным распространением ошибки со следующими параметрами:

- близость: 1 пиксель;
- скорость обучения: 0,1;
- количество итераций: 1000;
- количество скрытых слоев: 10;
- момент: 0,05.

Результат обучения нейронной сети представлен на рис. 4. Общая ошибка обучения составила 0,1 или 10%. Это говорит о высокой точности результатов моделирования.

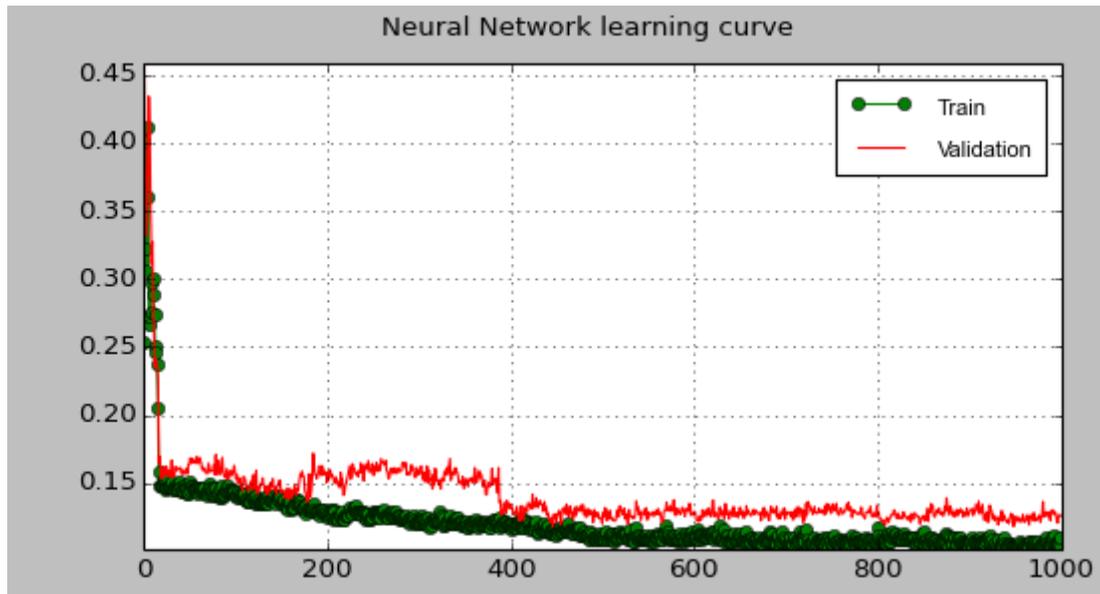


Рис. 4. Визуализация обучения нейронной сети

Моделирование изменений ландшафтного покрова Керченского полуострова до 2022 года (рис. 5) показывает (табл. 4), что в основном по всем классам ландшафтного покрова присутствует высокая вероятность отсутствия изменений.

Так же как и в период с 2007 по 2015 гг. изменения происходят путем увеличения класса травяной растительности, что обуславливает продолжение протекания тех же процессов - увеличения уровня атмосферных осадков, усиления сельскохозяйственной деятельности, а также вывода земель из сельскохозяйственного оборота, что приводит к зарастанию земель травяной растительностью.

**Заключение.**

Процессы изменения ландшафтного покрова Керченского полуострова следует счи-

тать достаточно существенными. Результаты проведенного моделирования говорят о значительном увеличении территорий, занимаемых травянистой растительностью. Основной причиной, провоцирующей данный процесс, является совокупное воздействие ряда природных и антропогенных факторов: уровня атмосферных осадков, увеличения инфраструктуры полуострова, изменения хозяйственного использования земель и др.

С точки зрения угрожающих потенциальному развитию территории склоновых процессов это может существенно сказаться на замедлении этих процессов, так как зачастую отмечается уменьшение скорости их образования в зависимости от обилия растительного покрова местности благодаря связывающим и укрепляющим свойствам корневой системы растений.

Таблица 4

Матрица перехода факторов (2015-2022 гг.)

Класс	1	2	3	4	5
1	0.874620	0.000042	0.051685	0.000000	0.073654
2	0.000000	0.501042	0.344581	0.000000	0.154377
3	0.000001	0.000034	0.957430	0.000000	0.042535
4	0.000000	0.000000	0.152389	0.713574	0.134036
5	0.000092	0.001440	0.322659	0.000371	0.675437

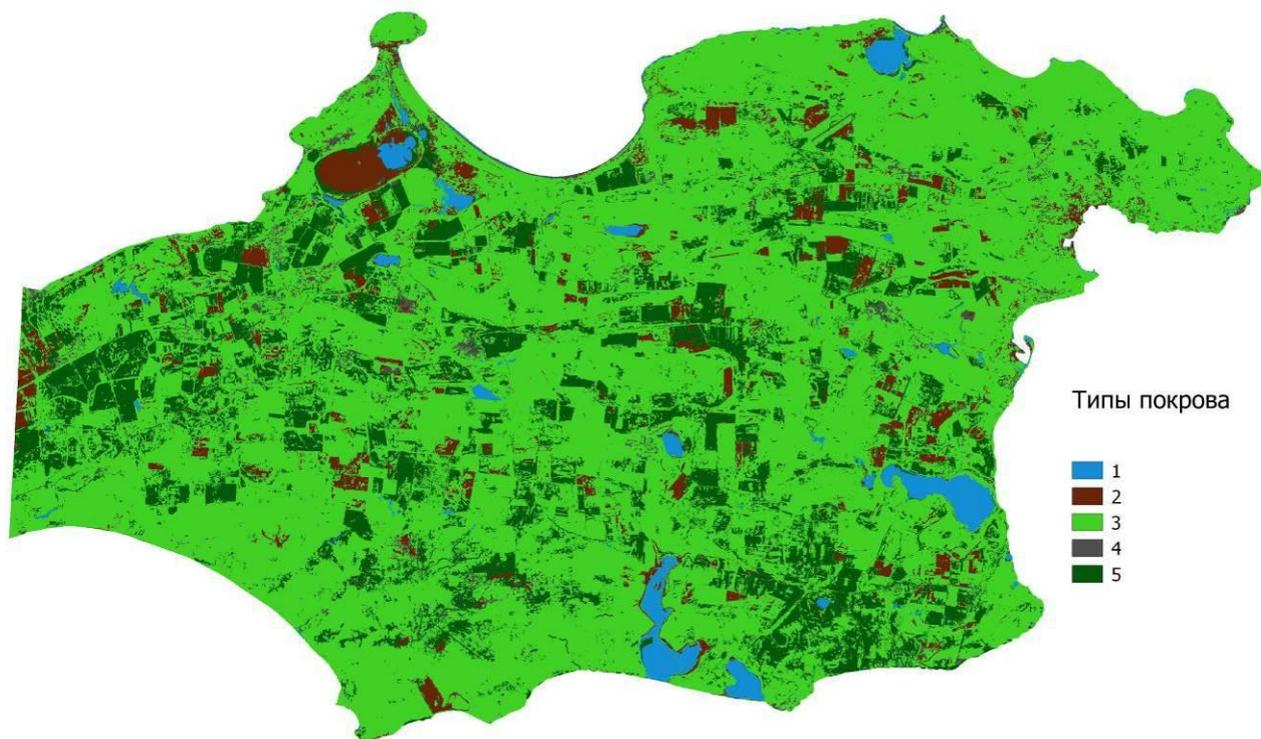


Рис. 5. Ландшафтный покров Керченского полуострова (2022 г.): 1 - водные объекты; 2 - почва, распаханые поля; 3 - трава, низкая растительность; 4 - искусственные объекты; 5 - высокая растительность, деревья, сады

#### Список литературы.

1. Беспалова, Л.А. Интегральная оценка качества среды Азовского моря / Л.А. Беспалова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. - 2008. - №2. - С. 87-92.
2. Гежа, Н.А. Исследование опасных экзогенных геологических процессов берегов Азовского моря на основе данных дистанционного зондирования / Н.А. Гежа, Е.А. Щетинин, Л.А. Беспалова. - Туапсе: Издательский Дом-Юг, 2016. С. 244-247.
3. Ивлиева, О.В. Современные опасные экзогенные процессы в береговой зоне Азовского моря / О.В. Ивлиева, Е.В. Беспалова, И.В. Шевердяев, К.С. Сушко, Г.Г. Матишов. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. 321 с.
4. Кривогуз, Д.О. Роль гидрологических процессов в процессах оползнеобразования Керченского полуострова // Материалы международной конференции "Современные

- проблемы и перспективные направления инновационного развития науки". Уфа: Аэтерна, 2016. С. 207-210.
5. Кропянко, Л.В. Антропогенная деятельность на береговых ландшафтах и проблемы совместимости различных видов хозяйственной деятельности Азово-Черноморского побережья / Л.В. Кропянко, Л.А. Беспалова // Международный научно-исследовательский журнал. - 2013. - № 17. - С. 126-129.
6. Матишов, Г.Г. Азовское море: современные абразионные процессы и проблемы берегозащиты // Доклады Академии наук. - 2016. - № 4. - С. 483-486.
7. Юдин, В.В. Геодинамика Крыма / В.В. Юдин. - Симферополь: ДИАЙ-ПИ, 2011. 336 с.
8. Cheruto Assessment of Land Use and Land Cover Change Using GIS and Remote Sensing Techniques: A Case Study of Makueni County, Kenya. *J. Remote Sensing & GIS*, 2016, No.5.

9. Khazieva E. GIS modelling in thematic mapping of land cover changes in the forest-steppe region of Russia. *J. Geogr.*, 2015, No.1, pp. 55-62.

10. Krivoguz D. Methods of Evaluation for Region's Landslide Susceptibility. Short Overview. *Safety in Technosphere*, 2017, No.3, pp. 57-60. DOI: 10.12737/22192

11. Zhou M. Influences of Different Land Use Spatial Control Schemes on Farmland Conversion and Urban Development. *PLOS ONE*, 2015, No.4, pp. e0125008.

#### Сведения об авторах

Кривогуз Денис Олегович - ассистент, младший научный сотрудник в ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», *krivoguzdenis@gmail.com*.

Буртник Дарья Николаевна - студент ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», *daray.burtnik@yandex.ru*.

## NEURAL NETWORK MODELING OF CHANGES IN THE LAND COVER OF THE KERCH PENINSULA IN THE CONTEXT OF LANDSLIDES OCCURENCE

Krivoguz D.O., Burtnik D.N.

Kerch State Maritime Technological University (Kerch, Russia)

The modern development of the Kerch Peninsula is closely connected with the large-scale man-caused impact, which leads to significant changes in the functioning of natural complexes. The paper demonstrates the neural network approach to studying changes in the state of the landscape cover and attempts are made to predict it. The modeling was carried out on the basis of available data on various components of the environment of the Kerch Peninsula and the anthropogenic factors affecting them. The analysis showed significant changes in the landscape component of the peninsula, which could potentially lead to a deterioration in the situation with the manifestations of landslides.

**Key words:** Landcover, neural network, modeling, GIS, Kerch peninsula, landslides.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-113-121

#### References

1. Bupalova L.A. Integralnaya otsenka kachestva sredy Azovskogo morya. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya Estestvennye nauki*, 2008, No.2, pp. 87–92. (In Russian)

2. Gezha N.A., Shchetinin E.A., Bupalova L.A. *Issledovanie opasnykh ekzogennykh geologicheskikh protsessov beregov Azovskogo morya na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya*. Tuapse: Izdateskiy Dom-Yug, 2016. 244–247 p. (In Russian)

3. Ivlieva O.V., Bupalova E.V., Sheverdyaev I.V., Sushko K.S., Matishov G.G. *Sovremennye opasnye ekzogennye protsessy v beregovoy zone Azovskogo morya*. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy federalnyy universitet, 2015. 321 p. (In Russian)

4. Krivoguz D.O. Rol gidrologicheskikh protsessov v protsessakh opolzneobrazovaniya

Kerchenskogo poluostrova. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Sovremennye problemy i perspektivnye napravleniya innovatsionnogo razvitiya nauki"*. Ufa, Aeterna, 2016, pp. 207–210. (In Russian)

5. Kropyanko L.V., Bupalova L.A. Antropogennaya deyatelnost na beregovykh landshaf-takh i problemy sovместимости razlichnykh vidov hozyaystvennoy deyatelnosti Azovo-Chernomorskogo poberezhya. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2013, No. 17, pp. 126–129. (In Russian)

6. Matishov G.G. Azovskoe more: sovremennye abraziionnye protsessy i problemy beregozashchity. *Doklady Akademii nauk*, 2016, No.4, pp. 483–486. (In Russian)

7. Yudin V.V. *Geodinamika Kryma*. Simferopol, DIAY-PI, 2011. 336 p. (In Russian)

8. Cheruto Assessment of Land Use and Land Cover Change Using GIS and Remote

Sensing Techniques: A Case Study of Makueni County, Kenya. *J. Remote Sensing & GIS*, 2016, No.5.

9. Khazieva E. GIS modelling in thematic mapping of land cover changes in the forest-steppe region of Russia. *J. Geogr.*, 2015, No.1, pp. 55–62.

10. Krivoguz D. Methods of Evaluation for Region's Landslide Susceptibility. Short Overview. *Safety in Technosphere*, 2017, No.3, pp. 57–60. DOI: 10.12737/22192

11. Zhou M. Influences of Different Land

Use Spatial Control Schemes on Farmland Conversion and Urban Development. *PLOS ONE*, 2015, No.4, pp. e0125008.

#### **Authors' information**

Denis O. Krivoguz - teaching Assistant, Junior research fellow at Kerch State Maritime Technological University, *krivoguzdenis@gmail.com*.

Daria N. Burtnik – student at Kerch State Maritime Technological University, *da-ray.burtnik@yandex.ru*.

Дата принятия к публикации  
(Date of acceptance for publication)  
01.11.2017

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2018

