

## МОДЕЛИ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

УДК 004.981.2:551.435.6

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ РИСКУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

© 2023 г. О. А. Вадачкоря<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Сочинское географическое общество,  
Курортный проспект 113, Сочи, 354024 Россия

\*E-mail: vadachkoria@mail.ru

Поступила в редакцию 01.10.2023 г.

После доработки 01.10.2023 г.

Принята к публикации 26.10.2023 г.

Разработана цифровая модель из набора геологических, инженерно-геологических и цифровых карт рельефа для машинного обучения нейросети с помощью содержания карты природных процессов для территории г. Сочи. Описание природных процессов при подготовке входных данных для обучения нейросети основано на результатах исследований на Южном склоне Большого Кавказа. Основой нейросети являются входная и скрытая матрицы, распределяющие на выходе входной обучающий сигнал на составляющие элементы событий с приемлемой точностью, достигнутой при обучении. Автором разработана собственная библиотека с функциями, реализующими разработку нейросети, что расширило возможности для решения целевых задач. Для работы с нейросетью создан набор программ. Построенные нейросетью территории возможного проявления оползневых процессов хорошо коррелируются с имеющимися оползневыми картами и участками выявленных деформаций инженерных сооружений. Выполненная работа может стать удобным инструментом для разработчиков документов территориального планирования при функциональном зонировании территории.

**Ключевые слова:** цифровая модель, нейросеть, матрица, природный процесс

DOI: 10.31857/S0869780923060073, EDN: AOAECV

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В № 38–ФЗ “О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” дано определение целей и задач инженерных изысканий при разработке документов территориального планирования от федерального уровня до отдельных поселений: “Территория, подверженная риску возникновения быстроразвивающихся опасных природных явлений и техногенных процессов, – это участок земельного, водного или воздушного пространства либо критически важный или потенциально опасный объект производственного и социального значения, отнесенные к указанной территории путем прогнозирования угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций и оценки социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций”.

Реализация поставленных задач выполняется на основании рекомендаций Минстроя России (СП 47.13330.2016). Предусмотрен ряд обязательных работ, состав которых также определен Постановлениями Правительства. Одними из составляющих инженерно-геологических исследований являются сбор и анализ фондовых и

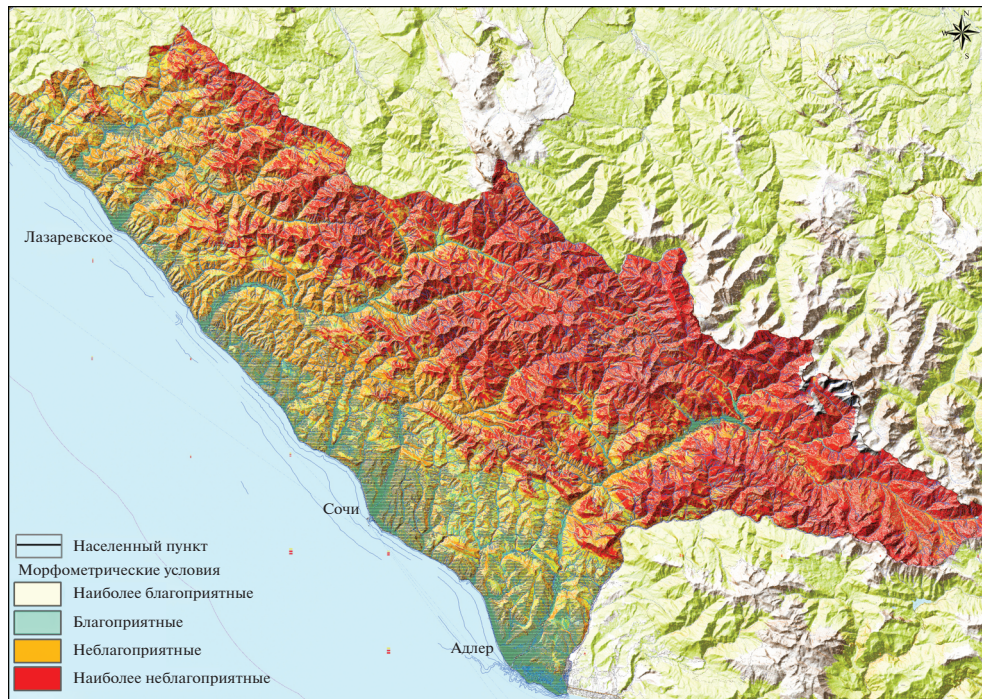
архивных материалов, на основании которых ставятся задачи инженерных изысканий.

Цели данной работы:

- создать цифровую модель из набора геологических, инженерно-геологических и цифровых карт рельефа;
- создать цифровое описание природных процессов;
- выполнить машинное обучение нейросети прогнозу возникновения природных процессов;
- использовать нейросеть для выделения территорий вероятного развития опасных природных процессов на топографической карте.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для обучения нейросети использованы материалы ОАО “Росстройизыскания” (2007 г.) “Проведение расширенных инженерных изысканий территории г. Сочи для разработки документов территориального планирования с обновлением топографической основы”, выполненные при подготовке к проведению зимней Олимпиады в 2014 г. Историческое расселение на нынеш-



**Рис. 1.** Схема расселения и комплексная оценка территории г. Сочи по морфометрическим показателям (высотный пояс и крутизна склона).

ней территории Городского округа Сочи (3800 км<sup>2</sup>) происходило на пологих участках горного рельефа и речных террасах (рис. 1).

Большая часть поселений расположена на слаболитифицированных породах палеогена, представленных глинисто-песчанистой, песчано-глинистой, глинисто-карбонатной формациями (рис. 2), в которых оползневые процессы проявляются наиболее активно. Таким образом, условия оползнеобразования и угроза разрушения инженерных сооружений пространственно совпадают. Большое количество атмосферных осадков (1470 мм/год) со стоком с южных склонов Западного Кавказа в Черное море вызывает интенсивную линейную эрозию, как основных русел, так и на водораздельных склонах. Возникают условия массового смещения поверхностных отложений к местным базисам оползания.

Естественной преградой для образования оползней являются лесные массивы. Техногенное вмешательство в геологическую среду без компенсирующих мероприятий является дополнительным фактором, нарушающим устойчивость склонов. Прогнозирование активизации природных процессов при выборе участков будущего строительства, выбора конструкций инженерных сооружений и мониторинга за состоянием геологической среды является первоочередной задачей для всех стадий разработки документов территориального планирования.

*Разработка цифровой модели из набора геологических, инженерно-геологических и цифровых карт рельефа*

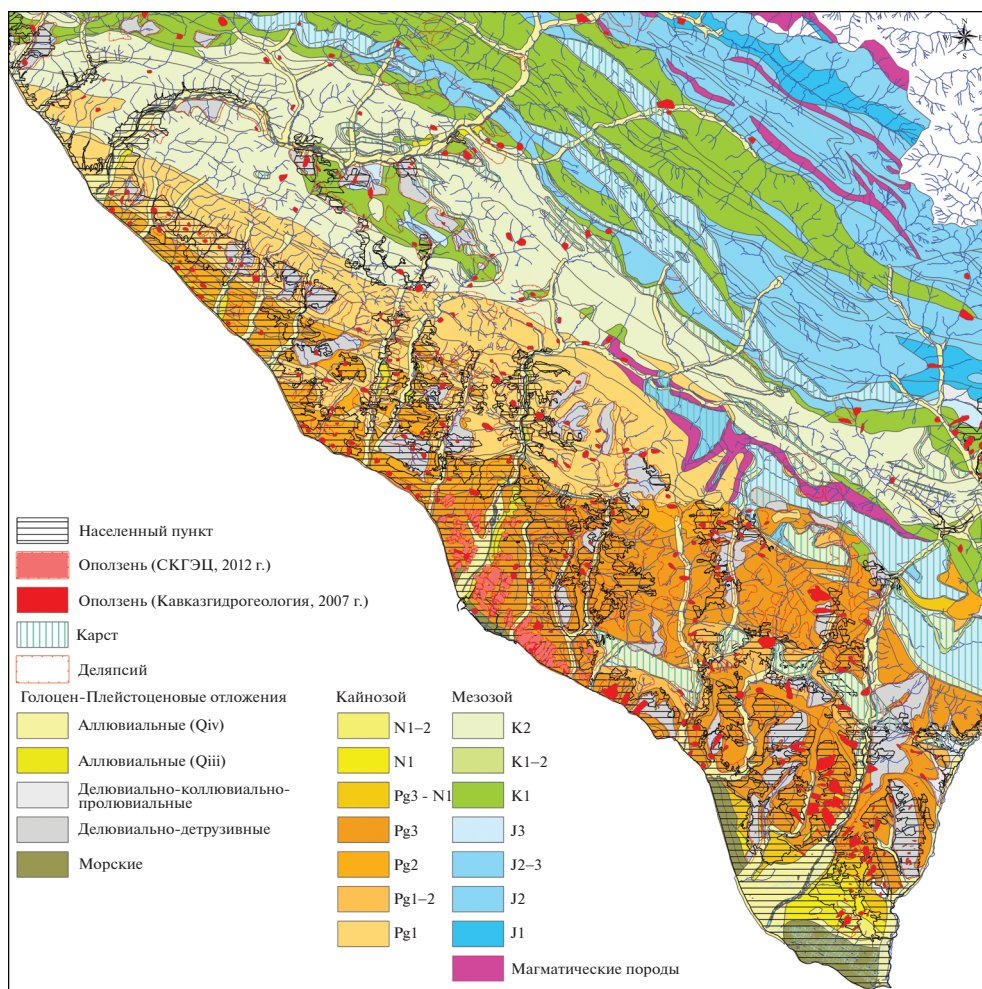
Количество исходных данных не должно быть избыточным. Соблюдается Принцип бритвы Оккама: *“Не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости”*.

Для работы использовались следующие карты территории г. Сочи:

1. Геологическая карта. ФГУПП “Кавказгеол-съемка”. Масштаб 1:200000.
2. Карта покровных отложений. ОАО “Кавказ-гидрогеология”. Масштаб 1:100000.
3. Карта высотных поясов. Цифровая модель. Масштаб 1:25000.
4. Карта уклонов. Цифровая модель. Масштаб 1:25000.
5. Карта опасных природных процессов. ОАО “Росстройизыскания”. Масштаб 1:100000.

Из геологической карты выделяются слои стратиграфических и формационно-генетических комплексов, литологического состава горных пород в виде отдельных карт. Именно этот набор входит в состав рекомендуемых для разработки документов территориального планирования:

– карта инженерно-геологического районирования территории,



**Рис. 2.** Фрагмент геологической карты, совмещенный со схемой расселения и распространения оползней на территории городского округа Сочи.

– карта территорий, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Таким образом, в нашем распоряжении имелась следующая информация: возраст пород, формационно-генетические комплексы, литологический состав коренных пород, тип поверхностных отложений, характеристика форм рельефа (высотные пояса и уклоны склона), а также карта опасных природных процессов. Поочередно карты преобразуются в таблицу: столбцы – ширина карты в пикселях, высота – количество строк в пикселях. Каждая ячейка таблицы состоит из набора индексов, несущих конъюнкцию сведений из введенного набора карт. Создается файл `Index.csv`. Используя порядковые номера элементов легенд, создаются возможные сочетания параметров, описывающих изучаемый процесс. Полученный результат преобразуется в набор входных одномерных матриц, используемых для машинного обучения, сведенных в файл

`Legend.csv`. Нейросеть в данном примере должна научиться выделять из входного потока данных файла `Index.csv` природные процессы: карст, затопление, оползни, обвалы, входящие в обучающий файл `Legend.csv`. Структура подготовки карт для обучения приведена на рис. 3.

Верхняя карта – карта опасных природных процессов. Оползни, по возможности, разделяются на маломощные площадные, оползни-потоки и блочные. Верхней карте природных процессов соответствуют 6 карт, участвующих в ее описании (см. рис. 3). Важное условие: карты должны быть одинакового размера, одного масштаба, в одной системе координат. Этого легко добиться, используя возможности геоинформационных систем.

#### *Подготовка входных данных для машинного обучения нейросети*

Описание природных процессов при подготовке входных данных для обучения нейросети

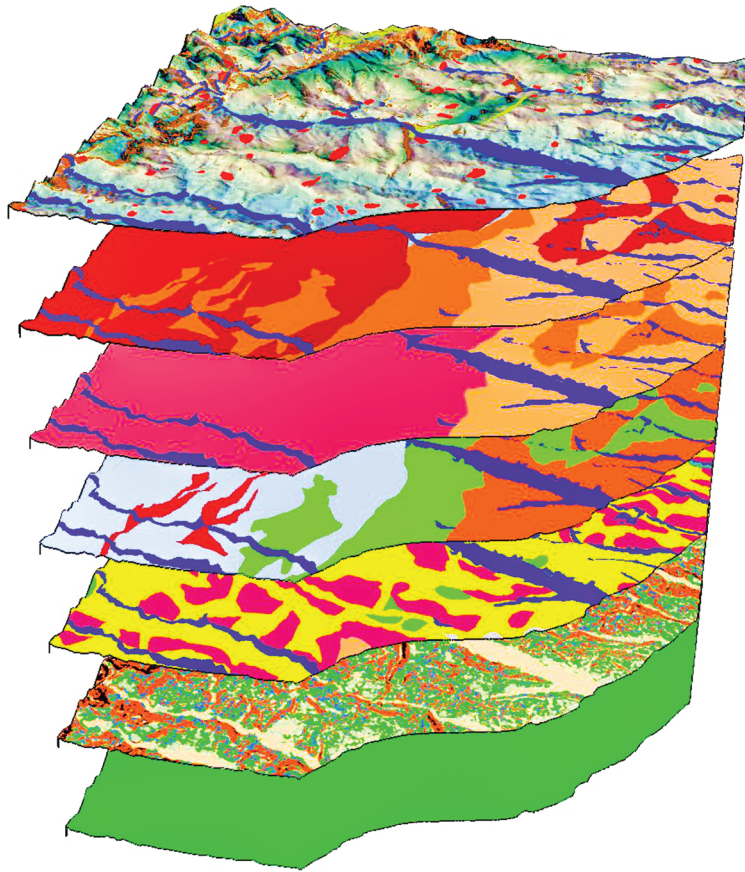


Рис. 3. Набор карт для обучения нейросети.

основано на результатах исследований природных процессов Южного склона Большого Кавказа [1–3, 5]. Для машинной обработки необходимо формализовать исходные данные с помощью высказываний, описывающих изучаемый процесс. При описании процесса используются порядковые номера параметров легенд с каждой карты (рис. 4). Для корректного описания природных процессов для машинного обучения нейросети применен аппарат алгебры логики. В задании, пригодном для машинного обучения, индексы вариантов из элементов легенд к картам сводятся в единую таблицу одномерных матриц (файл Legend.csv).

Возможны два варианта подготовки задания для обучения: *первый*, когда вручную в программу вводятся параметры легенд, участвующие, по мнению исполнителя, в образовании того или иного процесса; *второй*, когда программа самостоятельно делает выборку параметров из карт в границах контуров развития процессов с обучающей карты. Во втором случае необходимо провести дополнительную обработку исходных данных для исключения не имеющих место событий. Это необходимо при использовании картографических материалов мелкого масштаба при выне-

сении на топооснову более крупного масштаба. Таблица задания с перечнем вариантов возникновения событий в обоих случаях достигает значительных размеров. Итогом подготовки обучающего задания является файл Task.csv.

#### Создание нейросети

Основой нейросети являются входная и скрытая матрицы, распределяющие на выходе входной обучающий сигнал на составляющие элементы событий с приемлемой точностью, достигнутой при обучении. Смысл алгоритма обратного распространения ошибки, используемый для обучения нейросети и подробно описанный в [4], следующий:

$$1. L0 \rightarrow \text{WIN} \rightarrow L1 \rightarrow \text{WHO} \rightarrow L2.$$

Входной сигнал, содержащий описание природного процесса, проходит через входную матрицу, образуя промежуточный сигнал. Промежуточный сигнал проходит через скрытую матрицу, получая на выходе конечный результат также в виде одномерной матрицы.

$$2. \text{Err} = Y - L2.$$

Вычисляется разность между входным и конечным сигналами.

Если  $E_{gr} \leq T_r$  – конец расчета.

Если  $E_{gr} > T_r$  – переход к пункту 3.

3.  $E_{gr} \rightarrow WHO \rightarrow L1 \rightarrow WIN$  – переход к пункту 1.

Ошибка расчета вносит коррективы в скрытую матрицу, в промежуточный результат, во входную матрицу.

Обозначения:  $L0$  – входные параметры,  $Y$  – правильные ответы,  $T_r$  – допустимая точность расчета,  $L1$  – промежуточный результат,  $L2$  – конечный результат,  $WIN$  – матрица связи между входными параметрами и промежуточным результатом,  $WHO$  – матрица связи между промежуточным результатом и выходными параметрами,  $E_{gr}$  – точность вычисления.

Результат расчета – входная  $WIN$  и скрытая  $WHO$  матрицы, необходимые для работы нейросети. Операции 1–3 повторяются до тех пор, пока  $T_r$  не достигнет заранее оговоренной минимальной величины. Автором разработана собственная библиотека из необходимых функций, что расширило возможности для решения целого ряда подобных задач.

Из применяемой для машинного обучения нейросети карты распространения опасных природных процессов взяты: карст, затопление, бесструктурные маломощные оползни, оползни течения, блочные оползни, обвалы. Есть и другие, не менее важные, но остановимся пока на этих. Обработано 867 оползней, взятых из карты масштаба 1:100000, и 109 оползней из карты масштаба 1:10000. Произведен программный контроль входных данных для исключения ошибок выноса контуров оползней, затопления, карстовых областей на топооснову при переносе из мелкомасштабных карт на более детальные карты.

Для работы с нейросетью создан набор программ:

1. Программа перевода набора карт в табличный вид.
2. Программа создания Задания из набора вариантов, описывающих природные процессы, из легенд к картам.
3. Программа создания и контроля автоматически созданного задания.
4. Программа обучения нейросети.
5. Программа обработки нейросетью входного сигнала с определением прогнозируемого природного процесса с отражением на топографической карте. Возможно получение комплексного описания природных условий в точке, построение линейного профиля с выделением участков развития природных процессов, построение карты с прогнозом площадного развития природных процессов.

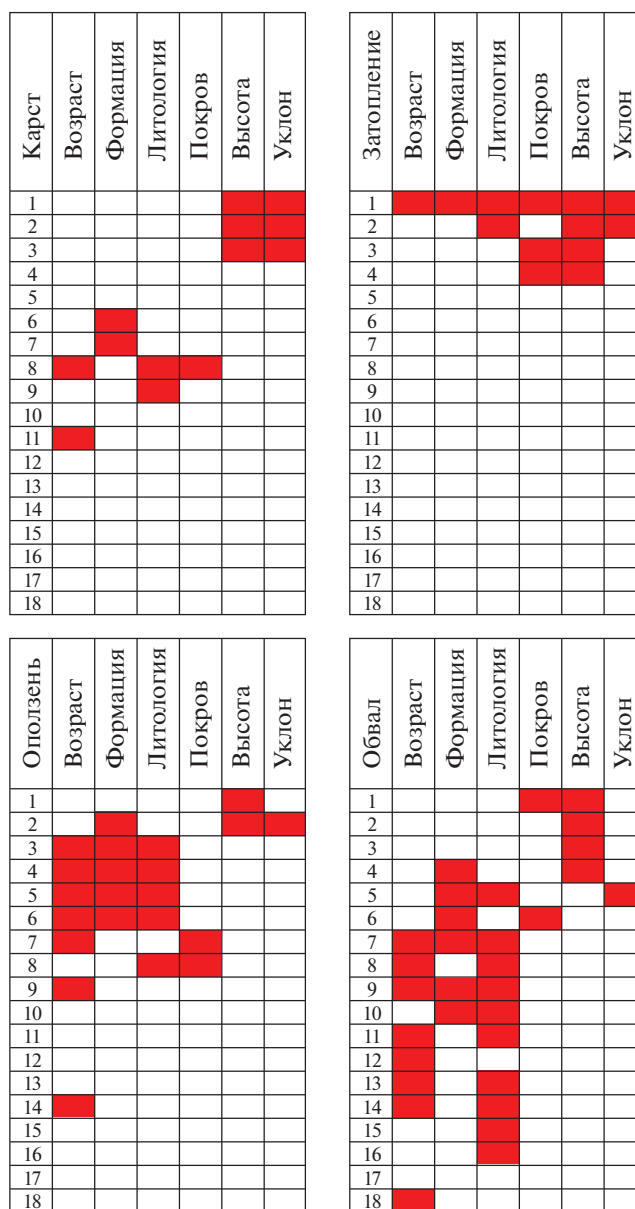


Рис. 4. Описание процессов карста, затопления, оползней, обвалов.

На рис. 5 приведена блок-схема реализации машинного обучения нейросети. Необходимо осознавать, что реализация работы нейросети является просто удобным математическим аппаратом выделения из потока данных объектов с конкретным набором признаков. Несомненное достоинство, что выделяемые нейросетью природные процессы могут быть совершенно разными по механизму образования. Процесс обработки задания и формирования нейросети приведен на рис. 6.

Во входном потоке обрабатываемых данных присутствовали: области развития карста и затопления, разновидности оползневых процессов, обвалы. Создается файл *Matrix.csv*, содержащий



Рис. 5. Структура создания нейросети.

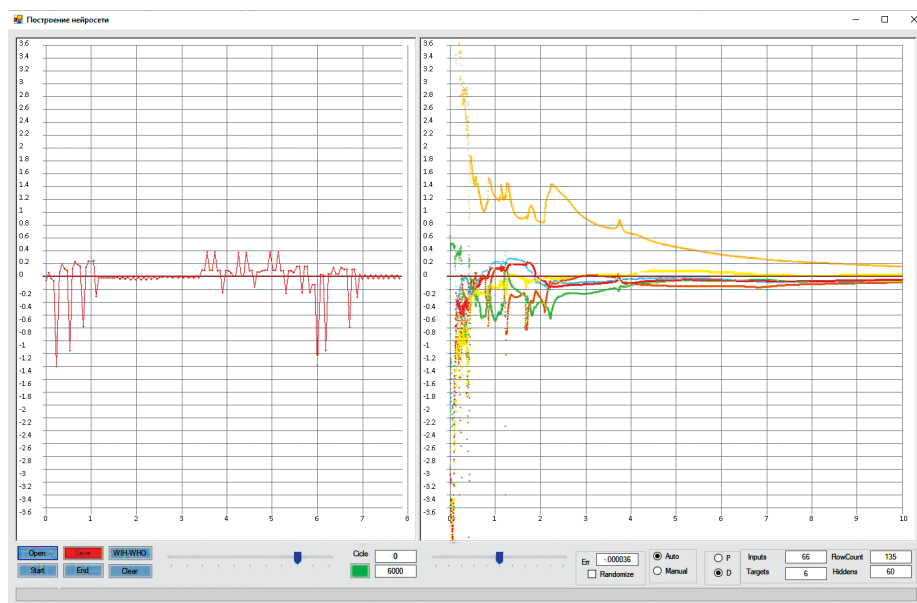


Рис. 6. Построение нейросети.

входную и скрытую матрицы. Конечный результат – программа, в которую пользователь загружает топографическую карту. Вводится цифро-

вой набор инженерно-геологических, геологических и других карт по выбору, использованных при обучении нейросети, т.е. для формирования

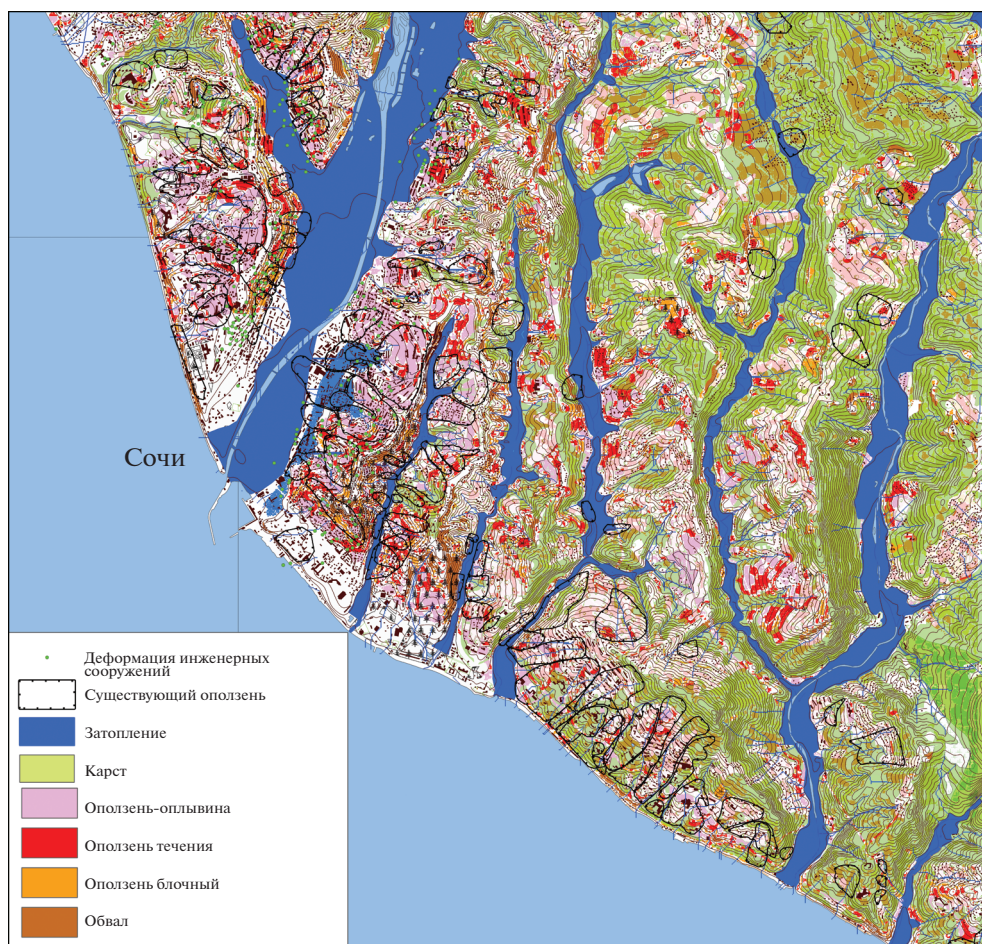


Рис. 7. Контроль работы нейросети при выделении природных процессов.

входной и скрытой матрицы. Вводится файл с матрицами. Входной сигнал считывается с координат топографической карты, совпадающих с координатами используемых инженерно-геологических карт. На выходе прогноз проявления для заданной точки, профиля или участка проявления природных процессов, или их отсутствие.

#### *Контроль полученного результата*

Окончательным критерием правильности работы нейросети является сравнение полученных результатов с материалами полевой оползневой съемки, а также визуальное обследование состояния инженерных сооружений. На рис. 7 приведен фрагмент оползневой карты, построенной нейросетью, с вынесенными контурами активных оползней с карты масштаба 1:10000, построенной сотрудниками СКГЭЦ г. Сочи в результате многолетнего мониторинга. На карту также вынесены результаты наблюдений, выполненные Департаментом строительства и архитектуры Администрации г. Сочи в 2022–2023 гг. Вынесены 430 точек с деформацией инженерных сооруже-

ний, а также участки с активными оползневыми процессами, затопления. После обработки цифровой модели рельефа построены и вынесены на карту оси поверхностного стока воды. Анализ результатов работы нейросети после совмещения с картой природных процессов показал:

1. Большая часть оползневых процессов наблюдается в породах глинисто-песчаной формации олигоцен-миоцена и песчано-глинистой формации палеоцена.
2. Построенные нейросетью территории возможного проявления оползневых процессов хорошо коррелируются с имеющимися оползневыми картами и участками выявленных деформаций инженерных сооружений.
3. Маломощные площадные оползни развиваются на пологих склонах водоразделов согласных падению слоев горных пород, блочные оползни — на крутых склонах с обратным падением горных пород. Оползни течения развиваются по осям временных и постоянных водотоков.
4. Площадь затопления построена нейросетью без учета существующих гидротехнических со-

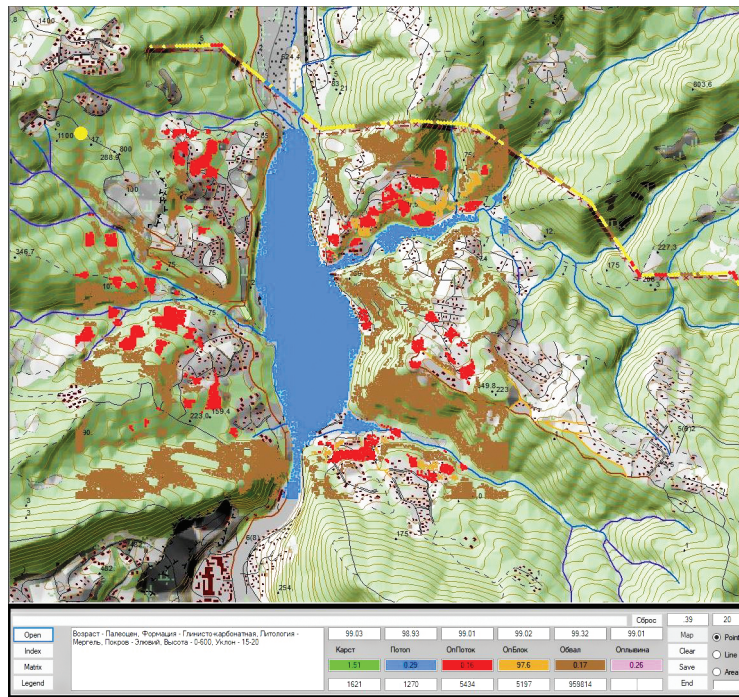


Рис. 8. Выделенные нейросетью участки прогнозирования затопления, обвалов, оползней.

оружий, тем не менее подтверждена паводковыми событиями последних лет.

5. Оползневая активность возрастает на участках вырубке леса, строительства инженерных сооружений.

6. Высока вероятность деформации водонесущих коммуникаций, подземных и поверхностных, а также подъема уровня грунтовых вод из-за масштабных сооружений инженерной защиты.

#### Работа с нейросетью

Для построения карт с использованием нейросети используются:

1. Файл *Index.csv* – таблица индексов, созданная из набора отобранных для обучения нейросети карт.

2. Файл *Matrix.csv* – матрицы связи нейросети.

Результаты работы нейросети выносятся на топографическую основу. На рис. 8 приведен фрагмент карты прогноза развития природных процессов на участке Хостинского района г. Сочи. Нейросеть выделила область возможного паводкового затопления, обвально-оползневые склоны. Обращает внимание факт относительно благополучного выбора территорий для проживания. В верхней части рис. 8 вдоль линии ЛЭП построен профиль, на котором нейросеть выделила участки затопления, обвально-оползневых процессов. Также появилась возможность получения

геологической информации в каждой точке топографической карты.

Выполненная работа может стать удобным инструментом для геологов при составлении программы полевых работ, для разработчиков документов территориального планирования при функциональном зонировании территории, для административных органов при выделении участков под строительство.

#### ВЫВОДЫ

1. Применение искусственного интеллекта путем создания целенаправленных нейросетей дает возможность пользователю получать разнообразную информацию из точки на карте, профиля по линейному объекту, территории поселения, включая прогноз возможного развития природных процессов.

2. Большая часть территории поселений Городского округа Сочи поражена оползневыми процессами. Это связано с тем, что исторически для строительства жилья выбирались участки с пологим рельефом, которые чаще всего являлись временно стабилизированными оползневыми ступенями или речными террасами.

3. В геологическом отношении породы, слагающие большую часть территории г. Сочи, молодые, слаблитофицированные, легкоразмываемые, набухающие при увлажнении и теряющие прочностные свойства от полускального состоя-



ния до текучепластичного породы палеогена глинисто-песчаной, песчано-глинистой формаций.

4. Высокая сейсмическая активность территории г. Сочи ускоряет процессы смещения покровных отложений по напластованию горных пород. Активные оползневые процессы при высокой сейсмичности территории города являются естественным ограничением его развития.

5. Поверхностным стоком атмосферных вод и эрозионно-оползневыми процессами формируется овражно-балочная сеть. Утечки из поврежденных водных коммуникаций ведут к катастрофической активизации оползневых процессов.

6. Пригрузка склонов после строительства инженерных сооружений ухудшает их устойчивость, изменяет направление грунтовых вод, приводит к активизации или возникновению оползневых процессов, сопровождающихся деревопопадами без явных признаков, ранее существовавших в этих местах оползневых смещений.

7. Активная вырубка лесного покрова влечет за собой активизацию оползневых процессов на территориях, где их раньше не было.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арешидзе Г.М.* Оползни Грузинской ССР. Тбилиси: Изд-во “Мецниреба”, 1980. 148 с.
2. *Вадачкория О.А., Джанджгава И.К., Попов Ю.И.* Комплексный геолого-геофизический анализ условий и факторов формирования оползней на черноморском побережье Грузии // *Инженерная геология*. 1989. № 1. С. 58–65.
3. *Джавахишвили Э.А.* Формирование коры выветривания в горных породах юры и мела. Тбилиси: Изд-во “Мецниреба”, 1980. 144 с.
4. *Рашид Т.* Создаем нейронную сеть. СПб: Изд-во “Диалектика”, 2017, 272 с.
5. *Церетели Э.Д., Церетели Д.Д.* Геологические условия развития селей в Грузии. Тбилиси: Изд-во “Мецниреба”, 1985. 186 с.

## USING A NEURAL NETWORK TO IDENTIFY TERRITORIES AT RISK OF NATURAL EMERGENCIES

**O. A. Vadachkoria<sup>a, #</sup>**

<sup>a</sup>*Sochi Geographical Society,  
Kurortnyi pr. 113, Sochi, 354024 Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: vadachkoria@mail.ru*

A digital model has been developed on the basis of a set of geological, engineering geological and digital terrain maps for machine learning of a neural network using the content of a map of natural processes for the Sochi territory. The description of natural processes in the preparation of input data for neural network training is based on the results of research on the Southern slope of the Greater Caucasus ridge. The neural network is based on the input and hidden matrices that distribute the input training signal at the output into the constituent elements of events with acceptable accuracy achieved during training. The author has developed his own library with functions that implement the development of a neural network, which has expanded the possibilities for solving target tasks. A set of programs has been created to work with the neural network. The territories of possible manifestations of landslide processes constructed by the neural network are well correlated with the available landslide maps and areas of identified deformations of engineering structures. The completed work can become a convenient tool for developers of territorial planning documents in the functional zoning of the territory.

**Keywords:** *digital model, neural network, matrix, natural process*

#### REFERENCES

1. *Areshidze, G.M.* [Landslides of the Georgian SSR.]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1980, 148 p. (in Russian)
2. *Vadachkoria, O.A., Dzhandzhgava, I.K., Popov, Yu.I.* [Complex geological and geophysical analysis of conditions and factors of landslide formation on the Black Sea coast of Georgia]. *Inzhenernaya geologiya*, 1989, no. 1, pp. 58–65. (in Russian)
3. *Dzhavakhishvili, E.A.* [Formation of weathering crust in Jurassic and Cretaceous rocks]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1980, p. 144. (in Russian)
4. *Rashid, T.* [Make your own neural network]. St. Petersburg, Dialectics Publ., 2017, 272 p. (in Russian)
5. *Tsereteli, E.D., Tsereteli, D.D.* [Geological conditions of mudflow development in Georgia]. Tbilisi, Metsniereba Publ., 1985, 186 p. (in Russian)