

УДК 502.53:004.4.22

© Коллектив авторов

А.С. Гусева, С.А. Устинов, В.А. Петров, П.А. Игнатюв

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ НОВОЙ МОСКВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Введение

Современная Москва является крупнейшим мегаполисом мира. В настоящее время происходит активное развитие города, которое выражается не только в росте населения, но и в увеличении территории. В 2011 году появился официальный проект расширения территории Москвы, получивший название «Новая Москва».

С 1 июля 2012 года территория Москвы увеличилась более чем в два 2 раза и составила 255 тыс. га. К границам Москвы были присоединены два городских округа (Троицк и Щербинка) и 19 городских и сельских поселений из состава Ленинского, Наро-Фоминского и Подольского районов Московской области, которые вошли в состав Троицкого и Новомосковского административных округов (ТиНАО) (рис. 1) [10].

Экологическую обстановку большинства крупных городов мира, таких, как Москва, являющихся местом проживания значительной части населения планеты, нельзя отнести к разряду благополучной. Техногенные процессы оказывают вредное влияние на воздушную среду, почвенный покров. Процессы, происходящие в областях расположения городов, носят сложный характер и масштабные последствия. Эти процессы обусловлены воздействием антропогенной нагрузки на природные системы, включая литосферное основание каждого города. При этом большинство данных процессов имеют долговременные последствия. В этой связи геоэкологические исследования в городах в настоящее время направлены, в основном, на выявление аномальных явлений, угрожающих жизнедеятельности населения.

В геологической среде городских агломераций значительные преобразования происходят за счет геологических процессов, к которым относятся карстово-суффозионные провалы, оползни и подтопления. По проведенным ранее оценкам Инженерно-геологического и геоэкологического центра РАН 48% территории старой Москвы относится к районам геологического риска [8].



Рис. 1. Схема административного деления Новой Москвы

При этом на присоединенной территории имеют место более крупные по площади проявления отмеченных экзогенных процессов. Оценка влияния геологических факторов, включающих экзогенные геологические процессы (ЭГП), на хозяйственное освоение рассматриваемой площади должна быть в основе геоэкологического анализа. Корректная оценка проявления ЭГП с использованием современных

ГИС-технологий с целью выявления территорий с высокой степенью экологических рисков поможет заблаговременно решить проблемы с проведением защитных мероприятий.

Таким образом, актуальность проведенной работы заключается в том, что рассматриваемая территория ранее входила в состав Московской области и не являлась плотно застроенной. В связи с этим комплексных геоэкологических изысканий для данной площади не проводилось. В виду расширения границ города и грядущего масштабного инженерно-хозяйственного освоения территории возникает опасность проявления и активизации значительной части ЭГП. Поэтому необходимо провести геоэкологическую оценку возможного состояния среды в результате повышения влияния на нее антропогенных факторов и усиления техногенного воздействия.

Полученная информация будет прежде всего полезна для инженерно-геологических изысканий при территориальном планировании размещения объектов в рамках территории Новой Москвы.

Фактический материал и программное обеспечение

Основой для рассматриваемого исследования послужил картографический материал, включающий геологическую карту дочетвертичных образований масштаба 1:200 000 номенклатурой N-37-II с выделением площадей неглубокого залегания карбонатных пород; карту четвертичных образований масштаба 1:200 000 той же номенклатуры, включая неотектоническую карту и геоморфологическую схему; карту аномального магнитного поля и схему аномалий силы тяжести (1:200 000); геологическую карту дочетвертичных отложений Московской области (1:500 000); геологическую карту четвертичных отложений Московской области (1:500 000); гидрогеологические карты Московской области (1:500 000); карту рельефа, полученную с помощью программы SASPlanet. Также в свободном доступе в сети Интернет была найдена и использована «Карта геологических процессов и явлений территории Москвы», разработанная в НПП «Георесурс» (<http://www.georesurs.ru/Georesurs/ProcMap.html>), которая состоит из серии карт проявлений отдельных процессов и явлений (карст, оползни, подтопление, суффозия) масштабом 1:25 000. Информация, касающаяся размещения различных объектов на территории, была найдена в сети Интернет (<http://beryllium.gis-lab.info/project/osmshp>). Использование такого большого объема картографической информации позволило авторам провести геоэкологическое

картографирование ЭГП, которое легло в основу геоэкологической оценки территории.

Для анализа имеющегося материала применялось следующее программное обеспечение:

1. ГИС ИНТЕГРО – специализированная геоинформационная система, разработанная во ВНИИгеосистем, предназначенная для решения задач картопостроения, прогноза полезных ископаемых и моделирования геологического строения земной коры. Использовалась для пространственной привязки имеющихся карт и схем в единой системе координат.
2. Adobe Photoshop CS3 – графический редактор, применялся для подготовки к обработке растровых материалов, удаления ненужных деталей, изменения интенсивности цветов, толщины и четкости контуров линий для удобства дальнейшей векторизации.
3. Quantum GIS (QGIS) – свободно распространяемая геоинформационная система с простым интерфейсом и обширными инструментами создания и редактирования векторных данных. Возможности программы могут быть расширены за счет применения дополнительных модулей. Главным образом применялся для векторизации необходимой информации с привязанных растровых карт и схем.
4. SASPlanet – информационная картографическая система, позволяющая совместно анализировать и загружать карты из различных открытых источников с файлами привязки. Программа использовалась авторами для получения рельефной карты, охватывающей изучаемую территорию, для проведения линейного анализа.
5. Golden Software Surfer 9 – ГИС система, работающая с данными на основе сеточного файла (GRID), использовалась для создания карт областей проявления геологических процессов, а также формирования сводных карт геоэкологических рисков [9].

Векторизация картографического материала

Весь имевшийся в распоряжении авторов фактический материал (карты и схемы) был представлен в растровом виде. Для использования растровых данных необходимо осуществить их пространственную привязку в картографической системе координат. Она задается с помощью картографической проекции. Для осуществления более точной привязки необходимые растровые материалы привязывались в программе ГИС ИНТЕГРО (разработка ВНИИгеосистем), которая обладает наиболее удобными функциями и инструментами для решения данной задачи.

Начальный этап исследования включал в себя оцифровку необходимой информации имеющегося картографического материала для дальнейшего анализа. Прежде чем проводить векторизацию в рабочей среде слоев программы QGIS, авторами был создан векторный слой, содержащий информацию о границах территории Новой Москвы. Кроме того, использовался ГИС-проект территории Москвы и присоединенных к ней территорий (<http://beryllium.gis-lab.info/project/osmshp>). Из данного проекта были извлечены векторные слои, характеризующие функциональное зонирование территории (месторасположение водотоков, водных объектов и объектов функционального значения).

В дальнейшем в программной среде QGIS с привязанных в единой проекции растровых карт и схем для реализации дальнейших задач была отвекторизована необходимая информация. Для анализа территорий, подверженных проявлениям неблагоприятных явлений, в векторный вид хранения данных были переведены известные площади проявления неблагоприятных экзогенных геологических процессов (карст, оползни, подтопление, суффозия). Также были оцифрованы потенциальные площади проявления неблагоприятных экзогенных геологических процессов. Кроме того, площади проявления всех известных в пределах данной территории неблагоприятных процессов прогнозировались на основе геологических данных, которые также переводились в векторный вид. Например, были отвекторизованы площади неглубокого залегания карбонатных пород (рис. 2), в рамках которых при наличии определенных факторов (русел рек, подтоплений) существует риск возникновения карста и суффозии.

Кроме экзогенных геологических процессов, на состояние геоэкологической обстановки оценивалось влияние неотектонических факторов. Одним из основных неотектонических факторов, непосредственно влияющих на состояние геологической среды на территории Новой Москвы, является разлом северо-восточного простирания, рассмотренный ниже. Размер зоны динамического влияния рассматриваемого разлома оценивался на основе проведенных ранее исследований [4]. Зона динамического влияния задавалась в векторном виде в QGIS путем обозначения буферной зоны вокруг осевой линии разлома.

Опасные геологические процессы на изучаемой территории

В пределах новой территории Москвы существуют геолого-геоморфологические условия для

развития целого ряда ЭГП, в том числе опасных с точки зрения хозяйственного освоения:

- гравитационные процессы на естественных и искусственных склонах (оползни, обвалы, осыпи);
- процессы, связанные с подземным переносом растворенных веществ и мелкозема (карст и суффозия);
- процессы, связанные с поверхностными водами (эрозия речная и овражная);
- процессы, связанные с изменением динамики подземных вод (подтопление, осушение и др.) [2].

На территории города карстовые процессы встречаются довольно часто, что связано с широким распространением карбонатных пород каменноугольного возраста. На изучаемой территории такими породами являются отложения подольского горизонта (С2pd), представленные известняками, площади неглубокого залегания которых охватывают порядка 1/3 части всей рассматриваемой территории (рис. 2).

Обычно при проведении инженерно-геологических исследований при выявлении площадей распространения карста параллельно изучают области проявления суффозионных процессов, которые часто действуют совместно с карстом, что приводит к более интенсивному разрушению горных пород.

Суффозия – геологический процесс, при котором основная масса породы (глинистые, пылеватые алевритовые частицы, песок) удаляется механическим действием движущейся воды [6]. По своему вещественному составу и условиям залегания наиболее благоприятной средой для развития суффозии на территории Москвы являются флювиогляциальные и аллювиальные отложения четвертичного периода, а также меловые и юрские пески [5]. Телескопирование этих отложений с зонами вероятного карстования в каменноугольных известняках Новой Москвы обуславливает усиление геоэкологических рисков на таких площадях.

Еще одним типом неблагоприятных процессов, проявленных в рамках изучаемой площади и оказывающих влияние на геоэкологическую обстановку, являются оползневые процессы. Оползневые процессы всегда обусловлены воздействием вод на слагающие склон породы. Оползень можно охарактеризовать как процесс соскальзывания блока горных пород вниз по склону под действием силы тяжести [7]. В настоящее время на территории Новой Москвы выявлено незначительное число проявлений оползневых процессов. Области проявления оползней характеризуются крутыми склонами и местами неглубокого залегания пород каменноугольного и юрского возраста, при увлажнении кровли которых формируется плоскость скольжения для

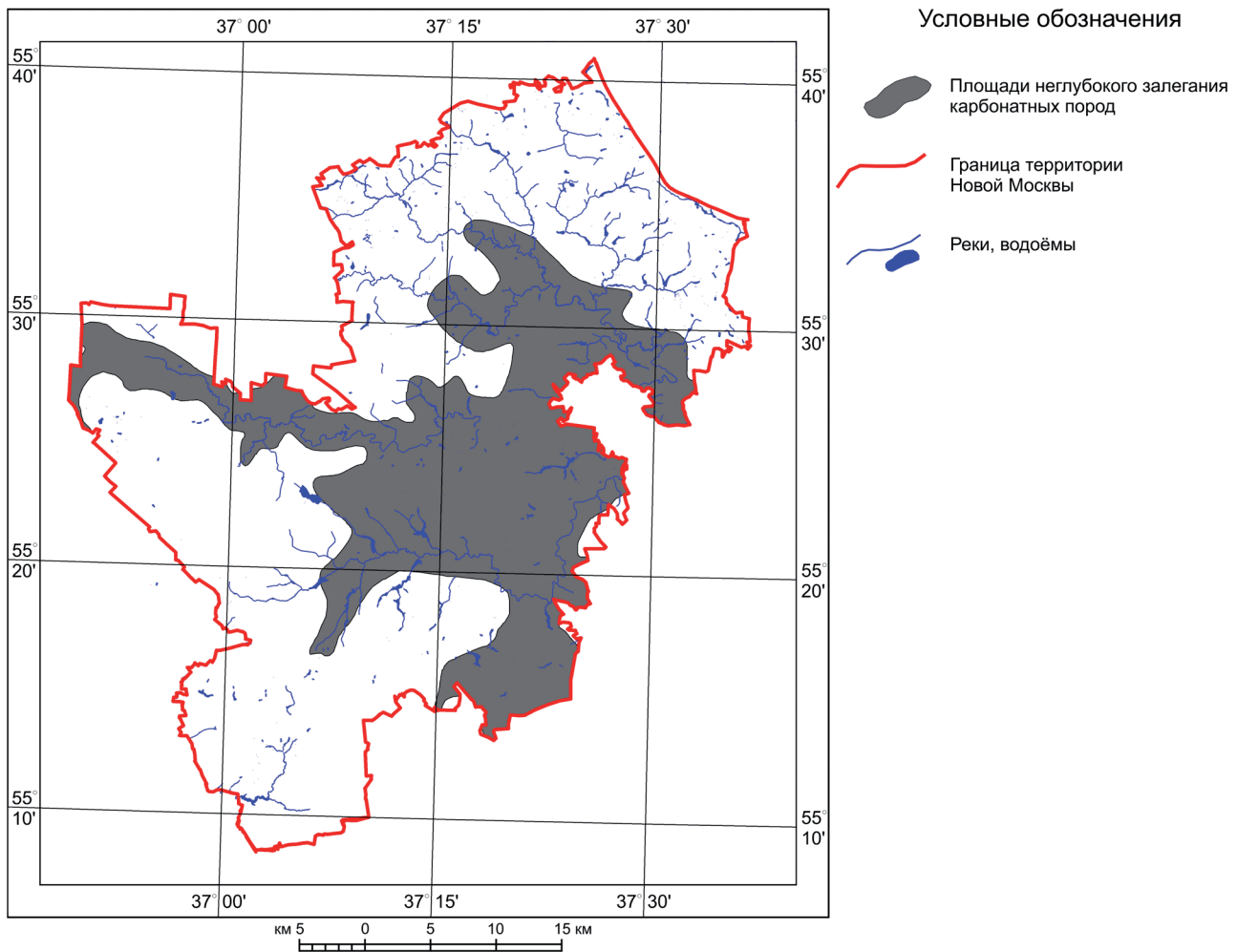


Рис. 2. Площади неглубокого залегания карбонатных пород на территории Новой Москвы

вышележащих пород. С расширением площадей проведения инженерно-хозяйственной деятельности риск проявления оползневых процессов увеличивается.

Еще одним процессом, оказывающим неблагоприятное влияние на застройку и использование территорий, является подтопление. Подтопленной считается территория, для нормального использования которой требуется проведение мероприятий по понижению уровня подземных вод, а также других защитных мероприятий. В настоящее время в постоянно подтопленном состоянии находится около 30% территории г. Москвы, а 20-25% городской территории периодически подтапливается грунтовыми водами. В пределах этих территорий средний показатель уровня грунтовых вод соответствует значениям от 3 до 4-5 м. С учетом амплитуд сезонных колебаний в отдельные периоды уровень грунтовых вод фактически залегает на глубинах менее 3 м. Таким образом, можно говорить о том, что в настоящее время около 50% территории г. Москвы находится в постоянно подтопленном состоянии или подтапливается периодически [11].

Кроме неблагоприятных экзогенных геологических процессов на территории Новой Москвы, важно отметить современное тектоническое нарушение, простирающееся с северо-востока на юго-запад через всю территорию. Оно разделяет территорию на два структурных неотектонических блока с разными вертикальными движениями. Соответственно в зоне влияния данного нарушения может происходить интенсивное трещинообразование, а значит и активизация карстово-суффозионных процессов.

Полученная информация обязательно должна быть учтена при построении карт геоэкологических рисков и при формировании рекомендаций по размещению объектов освоения территории.

Неотектоническое районирование территории

Несмотря на то, что территория Новой Москвы расположена в пределах Восточно-Европейской платформы, изучение современных движений земной коры показывает, что здесь явно выражены неотектонические структуры. Территория Новой Москвы расположена на южном крыле Московской синеклизы.

Имеющийся картографический материал по неотектонике охватывал только северо-восточную часть Новой Москвы [12]. По юго-западной части рассматриваемой территории необходимая информация о неотектонических структурах была получена за счет использования линеаментного анализа космоснимков и доступных карт рельефа [3]. Последние получены благодаря использованию программы SASPlanet. В результате чего была получена сводная неотектоническая схема территории Новой Москвы (рис. 3).

Внутри Подольского структурного блока выделены структуры III порядка – Троицкий и Климовский блоки, разделенные разломом северо-восточного простирания. Северо-западная часть территории Новой Москвы относится к Троицкому блоку, а юго-восточная – к Климовскому (см. рис. 3). Троицкий блок на этапе современной тектоники находится в режиме поднятия относительно Климовского.

Выбор сети наблюдений

На дальнейших этапах работы возникла необходимость выбора сети наблюдений. В зависимости от выбранного масштаба представления данных на сводных геоэкологических картах в соответствии с

рекомендациями при проведении геоэкологического картографирования [1] была выбрана сеть наблюдений 200×200 м. Такая сеть отражает максимальный уровень детальности для анализа исходного картографического материала при заданном масштабе. Кроме того, в дальнейшем построение сводных карт осуществлялось в программе Surfer с помощью сеточного GRID-файла, в основу которого легла выбранная сеть наблюдений. В программной среде QGIS данная сеть была представлена векторным файлом, содержащим точки, размещенные в вершинах квадратов сети.

Полученная точечная сетка с помощью стандартных инструментов QGIS последовательно накладывалась на созданные ранее векторные слои, отражающие те или иные геологические процессы. Для ранее созданных векторных слоев в атрибутивную таблицу было внесено значение полигона, отображающее степень опасности геологического процесса. Полигонам, характеризующим области проявления точно установленных ЭГП, присваивалось большее значение, чем для площадей потенциального развития ЭГП. В зависимости от того, попадают ли точки сети в область распространения и действия тех или иных процессов и факторов, каждая точка автоматически принимала определенное значение

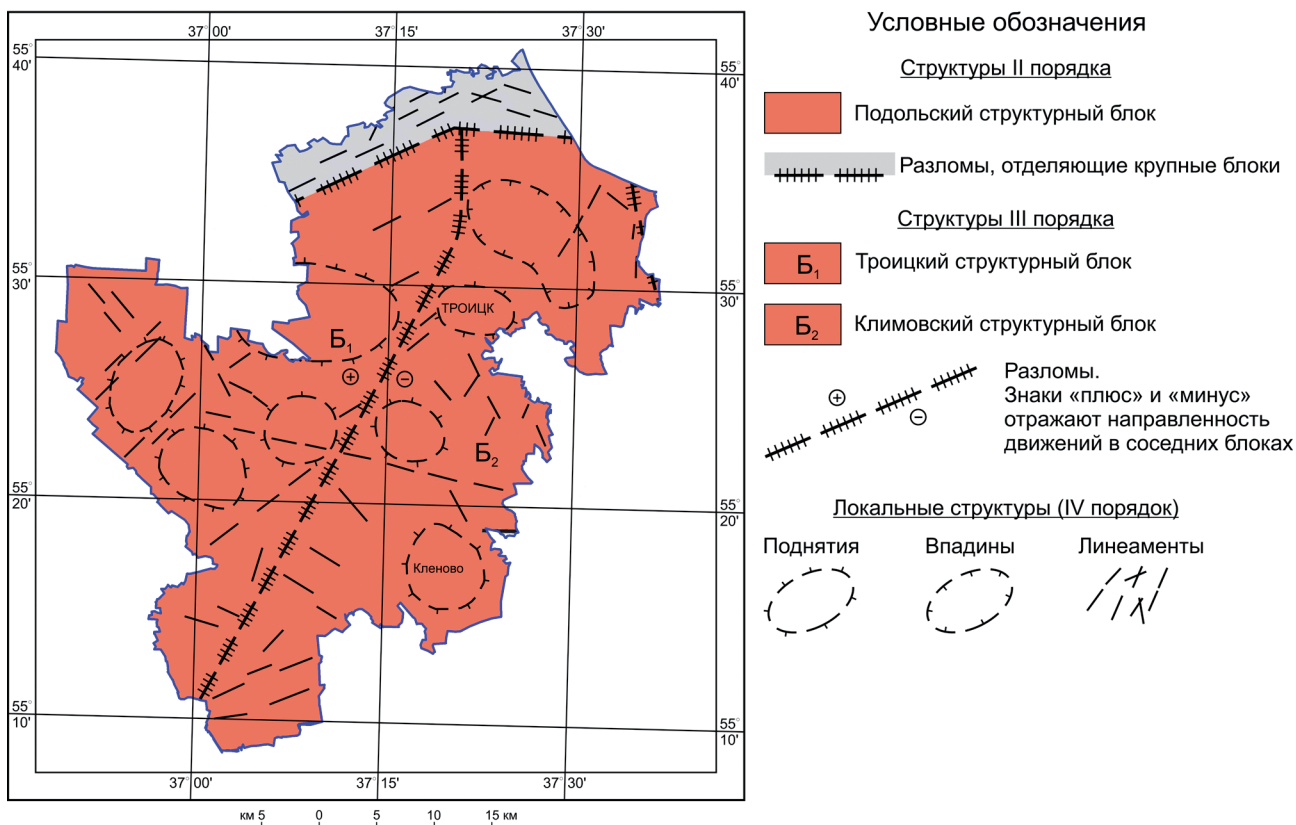


Рис. 3. Схема неотектонического районирования территории Новой Москвы

того полигона или группы полигонов, отражающих области проявления геологических процессов. Если точка оказывалась вне площади действия известных или прогнозируемых геологических процессов, значение оказывалось равным нулю. Все полученные значения автоматически записывались в атрибутивную таблицу. Кроме того, в атрибутивную таблицу вместе со значениями величины риска в отдельные столбцы автоматически заносились координаты каждой точки. Это необходимо для дальнейших построений в программе Surfer.

Построение карт распространения экзогенных геологических процессов

Геоэкологическое районирование территории проводилось на основе следующих критериев анализа картографических объектов, расположенных:

- в области проявления карста;
- в пределах территорий потенциально опасных по проявлению карстово-суффозионных процессов;
- в непосредственной близости или в области проявления установленных суффозионных процессов;
- в области проявления оползневых процессов, а также в непосредственной близости от склонов, потенциально опасных в отношении возможности развития мелких и поверхностных оползней в четвертичных отложениях;
- в условиях подтопляемых областей;
- в зоне динамического влияния крупного неотектонического разлома.

Векторный слой в практически любом программном обеспечении ГИС представляет собой shp-файл (шейп-файл). Он используется для хранения объектов, описываемых геометрией и сопутствующими атрибутами. При этом вся атрибутивная информация об объектах, содержащихся в shp-файле, в виде таблиц записана в dbf-файле, который неразрывно связан с shp-файлом. Данный формат таблиц может быть прочтен с помощью любого известного программного обеспечения, позволяющего работать с электронными таблицами, например Microsoft Excel или Open Office Calc. Данные таблицы со значениями степени риска и координатами точек наблюдения использовались авторами в программной среде Surfer при построении карт.

В Surfer из полученных таблиц были сформированы сеточные файлы GRID, на основе которых строились карты, отображающие районы с наименее благоприятной обстановкой. Всего было построено 9 карт, учитывающих неблагоприятные области проявления геологических процессов, как по отдельности, так и в совокупности.

Для построения карт в Surfer всем геологическим процессам были присвоены условные значения, показывающие степень геоэкологического риска. Данные значения также присваивались точечным узлам сети наблюдений в зависимости от обозначенных выше критериев. При составлении сводных карт процессов, в областях, где действие нескольких неблагоприятных геологических явлений накладывалось друг на друга, точки сети наблюдений приобретали суммарные значения, тем самым выделяя области повышенных рисков.

На основе проведенного ранжирования критериев построены карты в Surfer, которые были раскрашены в стиле «Rainbow». На данных картах белым цветом показаны области, где отсутствуют опасные геоэкологические процессы, а при переходе от фиолетового к зеленому, желтому и красному – нарастание активизации процессов и ухудшение геоэкологической обстановки (рис. 4).

В итоге проведенного построения карт и районирования стало возможно выявить районы с наиболее кризисной ситуацией в отношении проявления геологических процессов. Выполненное районирование не претендует на полноту учета всех факторов. Тем не менее, оно дает представление о влиянии геологических причин на геоэкологическое состояние территории Новой Москвы, что является крайне важным в связи с дальнейшим освоением территории.

Геоэкологическая оценка территории на основе сводных карт геологических процессов

На основе построенных карт авторами были выявлены области наибольшей интенсивности проявления геологических процессов (карст, суффозия, оползни, подтопление, динамическое влияние разлома), а также прогнозные участки, потенциально опасные по проявлению двух процессов (карст и суффозия) на новой территории Москвы.

Стоит отметить, что кроме оценки развития каждого отдельного экзогенного геологического процесса на территории, необходимо оценить комплексное воздействие всех геоэкологических процессов. Для этого построена карта, отображающая наложение и совокупное влияние всех ЭГП, распространенных на описываемой территории: карст и суффозия, оползневые процессы и подтопление (рис. 5). На построенной карте можно выделить четыре участка, которые характеризуются максимальным пространственным совмещением всех рассматриваемых процессов и, как следствие, являются наименее благоприятными зонами по геоэкологическим рискам. Это долина реки Моча (включая Версино, Давыдово, Троицкое, Ознобишино),

исток и долина реки Пахра (запад описываемой территории, включая Талызино) и долина реки Десна (включая Лаптево).

Кроме того, в рамках геоэкологического анализа впервые рассмотрено влияние всех экзогенных геологических процессов в совокупности с областью динамического влияния разлома. На основе этих данных также составлена карта, отражающая неблагоприятные области (рис. 6). Из карты видно, что при учете влияния разлома на территории выделяются две основные неблагоприятные площади,

где одновременно проявлено порядка пяти-шести геологических процессов. Обе площади расположены в центральной части территории, первая – в долине реки Пахра, включает деревню Городок, а вторая – в долине реки Десна, где расположена деревня Ботаково. Можно предположить, что рассматриваемый разлом при наложении всех факторов способствует ухудшению геоэкологической обстановки в районе города Троицка, что является неблагоприятным для природной среды, городского населения, размещения жилых объектов и объектов строительства.

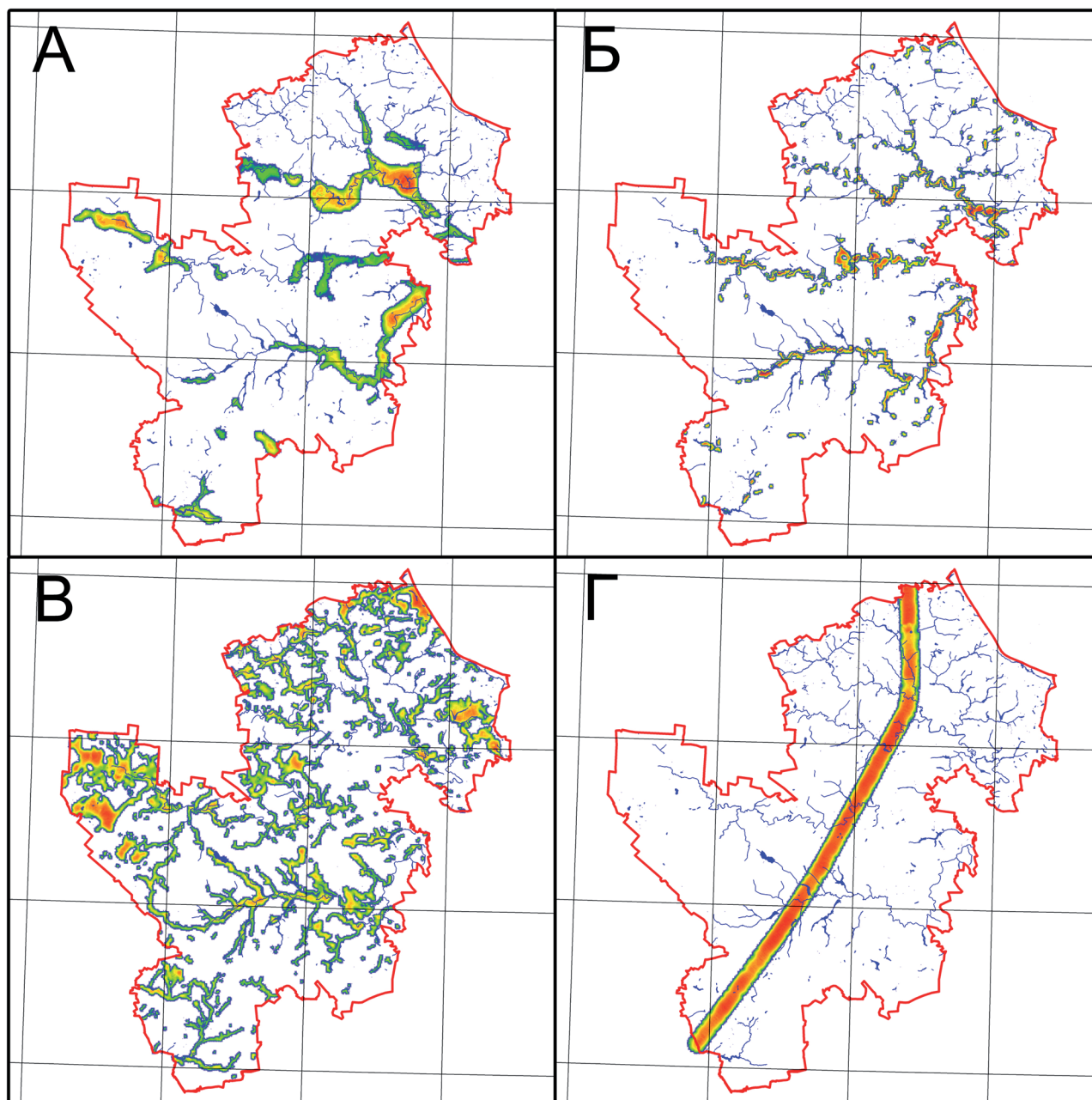


Рис. 4. Схемы областей и интенсивности проявления ЭГП на территории Новой Москвы.
 А – карст, Б – суффозия, В – области подтопления,
 Г – зона динамического влияния неотектонического разлома

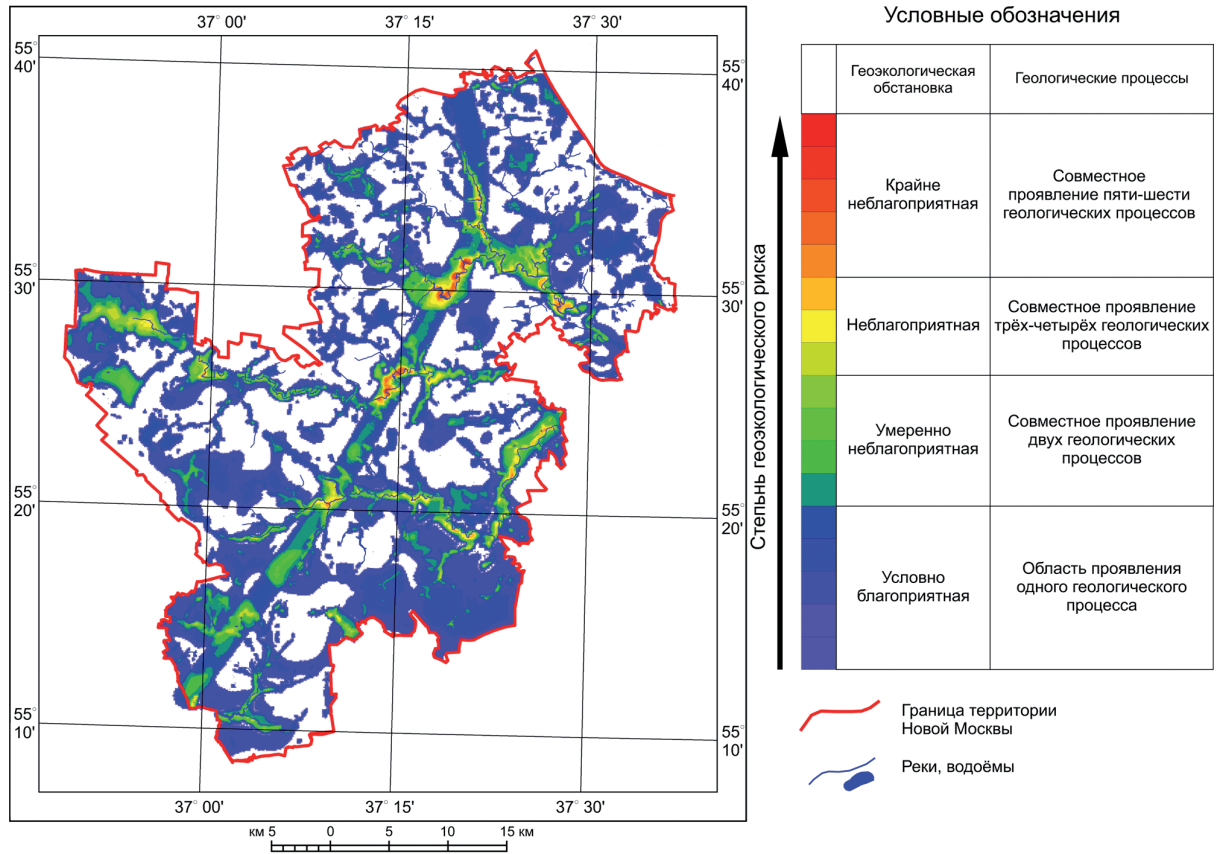


Рис. 5. Карта совокупного проявления карста, суффозии, оползневых процессов, подтопления, включая области потенциально опасные по развитию карстово-суффозионных процессов, на территории Новой Москвы

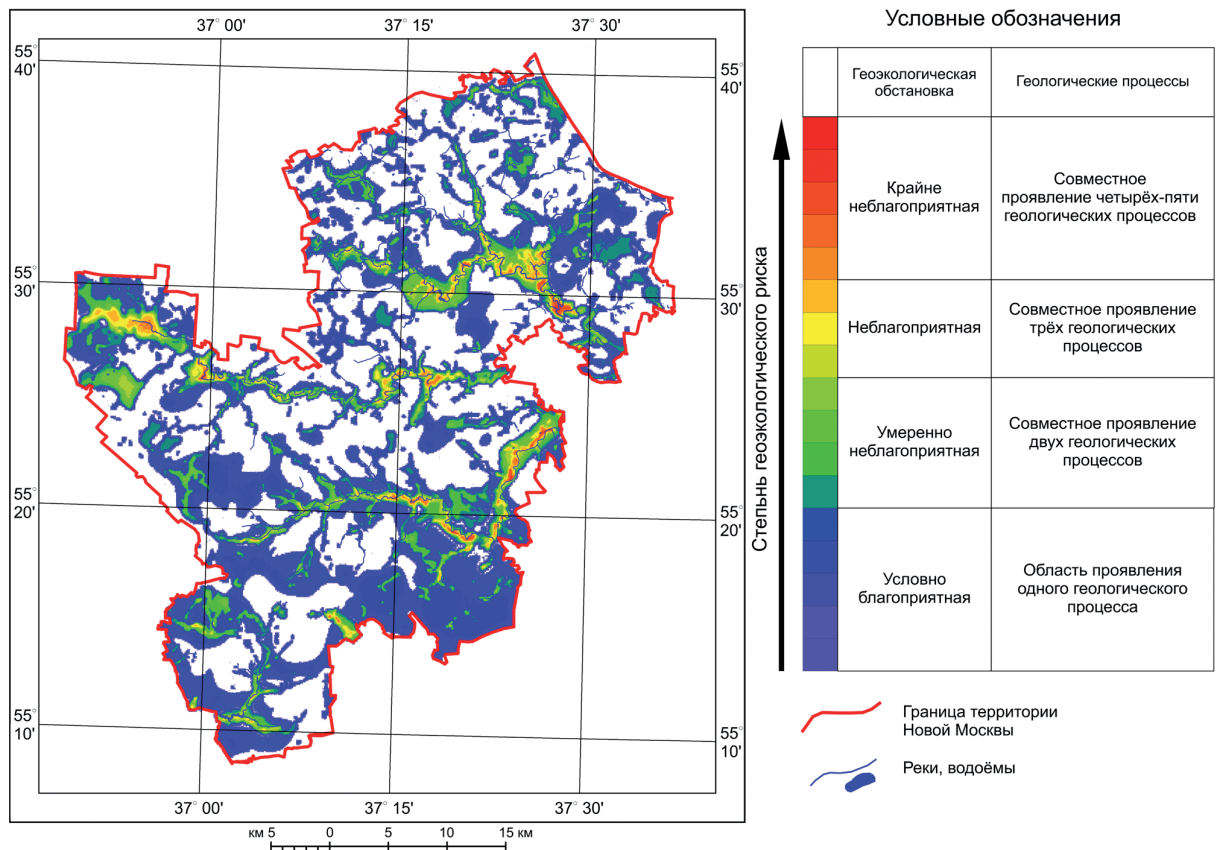


Рис. 6. Карта совокупного проявления экзогенных геологических процессов и неотектонического разлома на территории Новой Москвы

Выводы

Проведенная работа по геоэкологической оценке территории Новой Москвы на основе анализа геологических факторов позволила собрать и обобщить обширные материалы (очерки, монографии, статьи, карты, схемы), касающиеся изучаемого объекта. На основе данных материалов был создан ГИС-проект «Новая Москва», представляющий собой систему сбора, хранения, анализа и графической визуализации многочисленных пространственных данных по рассматриваемой территории и связанной с ними информации о необходимых объектах. Созданный проект может расширяться за счет поступления новой информации для проведения комплексного геоэкологического районирования Новой Москвы, что является актуальным в связи с дальнейшим освоением территории.

Благодаря использованию различного программного обеспечения, были построены геоэкологические карты, отражающие наиболее и наименее благоприятные участки на территории Новой Москвы, характеризующие локализацию и интенсивность проявления тех или иных экзогенных геологических процессов и областей их совместного действия. Кроме того, для описываемой территории впервые было оценено не только влияние экзогенных геологических процессов, но и области динамического влияния разлома, проходящего через всю Новую Москву.

Полученные геоэкологические карты распространения опасных экзогенных геологических процессов и областей их совместного проявления могут быть использованы при проектировании различных мероприятий, направленных на предотвращение последствий развития данных процессов. Также построенные карты могут помочь при выборе мест размещения объектов различного функционального назначения.

Ключевые слова: геоэкология, экзогенные геологические процессы, геоэкологические карты, Новая Москва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андросова Н.К. Геолого-экологические исследования и картографирование (Геоэкологическое картирование) : учеб. пособие. – М. : Изд-во РУДН, 2000. – 98 с.
2. О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году : доклад / под ред. А.О. Кульбачевского. – М. : ДПиООС ; НИА-Природа, 2015. – 384 с.
3. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линейной тектоники. – М. : Недра, 1986. – 140 с.
4. Лобацкая Р.М. Структурная зональность разломов. – М. : Недра, 1987. – 128 с.
5. Осипов В.И., Медведев О.П. Москва: геология и город. – М. : Московские учебники и Картолитография, 1997. – 399 с.
6. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Курс «Общая геология» : учебное пособие к разделу «Карст». – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2015. – 64 с.
7. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Курс «Общая геология» : учебное пособие к разделу «Континентальные склоновые процессы и отложения». – Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2015. – 48 с.
8. Прозоров Л.Л. Геоэкология: методологические основы. – М. : ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ, 1997. – 110 с.
9. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8 : учебно-методическое пособие. – Воронеж : Изд.-полиграф. центр ВГУ, 2008. – 66 с.
10. Официальный портал Мэра и Правительства Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mos.ru/about/history/> (дата обращения 15.07.2016).
11. Современные геологические процессы и явления [Электронный ресурс] // Геологический атлас Москвы : сайт НПП «Георесурс». – URL: <http://www.georesurs.ru/Georesurs/AtlasMos/InjenerGeol.html> (дата обращения 01.07.2016).
12. Шулешкина Е.А. Неотектоническая схема N-37-11 (Москва). – М. : Государственное предприятие МНПЦ геоэкологических исследований и использования недр «Геоцентр-Москва», 1997.