

УДК 551.243.8

**ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ  
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОГО ЛАНДШАФТА  
МОСКОВСКОГО РЕГИОНА**

*Г.Н. Иванченко, Э.М. Горбунова*

Для оценки состояния урбанизированной территории обычно применяется комплексный подход, включающий классические методы исследований: инженерно-геологические, геоморфологические и геофизические. В данной работе впервые был проведен линеаментный анализ техногенно измененного ландшафта Московской агломерации. Интерактивное дешифрирование мозаики космоснимков Московского региона с использованием программного пакета LESSA позволило провести экспресс-анализ техногенной нагрузки на ландшафт, охарактеризовать геодинамически активные зоны и природно-техногенную среду мегаполиса.

## **Введение**

Крупные городские агломерации, состоящие из производственных, селитебных и рекреационных зон, различаются по степени влияния на ландшафтные и геологические системы. Московская агломерация в пределах границ новой Москвы включает в себя старую Москву, присоединенные к ней участки, ранее принадлежавшие Московской области, районы Московской области, характеризующиеся разной степенью освоенности, и представляет собой единый урбанизированный Московский регион. Влияние Московской агломерации захватывает все геосфераы, верхние слои литосферы, гидросферу и нижние слои атмосферы, оказывая влияние на геофизические поля. На современном этапе развития природные и техногенные явления не могут рассматриваться отдельно друг от друга.

Интенсификация антропогенного и техногенного воздействий постоянно растущей Московской агломерации становится сопоставимой по своим масштабам с геологическими процессами и приводит к формированию природно-техногенной среды. Сложное сочетание природных и техногенных факторов обуславливает необходимость привлечения данных дистанционного зондирования к исследованию урбанизированных территорий, условий развития опасных экзогенных процессов и трансформации геофизических полей.

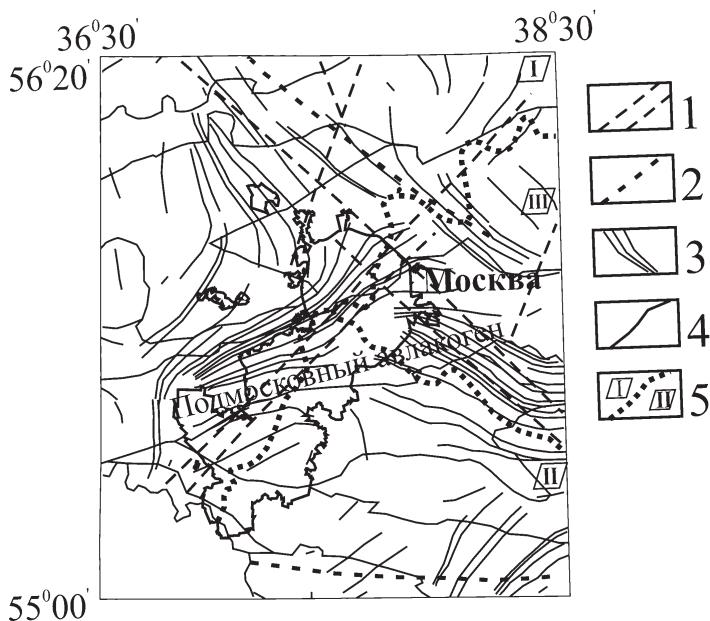
Методика автоматизированного линеаментного анализа (программный пакет LESSA) направлена на выделение протяженных линеаментов, изучение роз-диаграмм и плотности малых линеаментов [Zlatopolsky, 1997]. Под линеаментами понимаются ориентированные линейные элементы изображения, отражающие неоднородности среды. Серия цифровых моделей на основе автоматизированной обработки мозаики космоснимков LANDSAT, с разрешающей способностью 30-50 м, использовалась для получения статистических характеристик пространственного распределения малых линеаментов и применялась для анализа геодинамической обстановки регионов с разной степенью техногенной нагрузки [Адушкин, 2013].

Генерализация и рентгеноскопичность, свойственные данному масштабному уровню, позволяют учесть техногенную составляющую в ландшафтном рисунке и охарактеризовать геоморфологические районы с учетом их неотектонической активности. При исследовании природно-техногенной среды Московской агломерации необходимо применение дифференцированного подхода и увеличение роли эксперта при интерактивной обработке космоснимков.

## **Геолого-геоморфологическое строение Московского региона**

На протяжении длительного времени антропогенного освоения территории Московского региона естественный ландшафт подвергся значительным изменениям. Структурно-тектонические и геодинамические условия являются определяющими и контролируют формирование природно-техногенной среды. Особенности геологического строения и гидрогеологической обстановки региона обусловлены его расположением в центральной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на юго-западном крыле Московской синеклизы.

Глубинные структуры кристаллического фундамента различного простирания через осадочный чехол находят свое выражение в рельфе и прослеживаются в линеаментном рисунке [Иванченко, 2013] (рис. 1). В пределах региона выделяются разломы субширотного, СЗ-ЮВ и ЮВ-СЗ простираций. В осадочном чехле глуб-



**Рис. 1.** Совмещенный план линеаментных форм и структур кристаллического фундамента Московского региона [Отчет, 1999].

(1–2) – протяженные линеаменты, выделенные по данным дешифрирования: 1 – автоматизированного, 2 – ручного; (3) – линеаментные формы; (4–5) – границы: 4 – структур кристаллического фундамента, 5 – геоморфологических областей. Области: I – Смоленско-Московская равнина, II – Москворецко-Оксская равнина, III – Мещерская низменность

бинные разломы кристаллического фундамента (Павлово-Посадский, Раменский) транслируются через зоны локализации деформации в виде складок, флексур, сгущения трещиноватости пород.

Важную структурообразующую роль на протяжении всей истории геологического развития региона играет Павлово-Посадский разлом, который является северной границей Подмосковного авлакогена. На уровне поверхности кристаллического фундамента амплитуда Павлово-Посадского сброса в разрезе достигает 0,8 км в районе Теплостанского грабена, наиболее погруженного блока Подмосковного авлакогена.

В осадочном чехле по кровле верейского горизонта среднего карбона над Павлово-Посадским сбросом прослежено заложение инверсионной структуры в виде Коломенской флексурной зоны с поднятым южным крылом. Перепад высот составляет 20 м. Дальнейшее развитие эта региональная зона получает в процессе формирования доюрского эрозионного рельефа в виде Главной Московской палеодолины.

Инверсия рассматриваемой структуры продолжалась с позднего мела до ранне-го неоплейстоцена и привела к образованию на юго-западе Москвы Теплостанской возвышенности. На северном крыле флексурной зоны развитие пенеплена было осложнено доледниковой долиной Пра-Москвы. Современная речная сеть частично унаследовала доледниковую.

Разнообразие рельефа Московской агломерации связано с расположением ее на месте сочленения трех длительно развивающихся геоморфологических областей,

которые различаются по морфологическим и морфометрическим признакам. Северная и северо-западная части мегаполиса расположены в пределах южной периферии Смоленско-Московской аккумулятивно-эрэзионной равнины. Абсолютные высоты поверхности меняются от 155 до 185 м. Равнина сложена ледниками и водноледниковыми отложениями. Рельеф слаженный полого-волнистый. В западинах распространены болотные отложения.

Западная, юго-западная и южная части городской агломерации, включая вновь присоединенные территории, находятся в пределах Москворецко-Окской полого-волнистой аккумулятивно-эрэзионной равнины. Формирование рельефа рассматриваемой равнины связано с действием ледника московского возраста. В пределах кольцевой дороги находится наиболее высокая часть Москворецко-Окской равнины – эрозионно-тектоническая Тепlostанская возвышенность, сильно расчлененная глубоко врезанной овражно-балочной и речной сетью, абсолютные отметки водоразделов которой достигают 255 м. Смоленско-Московская и Москворецко-Окская геоморфологические области испытывают относительное неотектоническое поднятие.

Восточную часть Москвы занимает Мещерская озерно-ледниковая зандровая низменная равнина с абсолютными отметками от 140 до 160 м, характеризующаяся плоским рельефом с широкими неглубокими ложбинами стока и относительным неотектоническим опусканием.

Границы между геоморфологическими областями проходят по долинам рек Москвы и Яузы. Долинный комплекс представлен 3 уровнями надпойменных террас, приуроченных в основном к левому берегу, поймой и меандрирующим руслом. Долина реки Москвы асимметрична с более крутым правым бортом. Пойма сильно изменена, частично подсыпана, подтоплена, на отдельных участках река ограничена набережными.

В течение длительного освоения территории естественный рельеф и осадочная толща претерпели значительные изменения. В местах наибольшего антропогенного воздействия в центральной части мегаполиса рельеф можно считать полностью техногенным. Неравномерность освоения и застройки территории, интенсивное градостроительство, прокладка сопутствующих инженерных коммуникаций и дорожно-транспортных сетей привели к перепланировке, нивелированию местности и накоплению мощного слоя техногенных отложений, характеризующихся неоднородным строением и составом, высокой скоростью накопления до 10 см/год [Москва, 1997]. Мощность техногенных образований изменяется от 2–4 м до 20–30 м, локально увеличиваясь до 40–60 м в селитебных центральных районах, на участках засыпок оврагов, ручьев, карьеров, районах образования свалок.

### **Потенциально опасные экзогенные процессы**

В пределах Московского региона потенциально опасные экзогенные процессы могут быть обусловлены как природными, так и техногенными факторами. Кроме того, выделяется отдельная группа природно-техногенных процессов, возникновение и развитие которых зависит от антропогенной нагрузки на окружающую среду. К природным экзогенным процессам, наиболее опасным с точки зрения функционирования мегаполиса, относятся карст, суффозия, оползни, овражная, боковая и регressive эрозия, подтопление и заболачивание.

Большая часть оползней приурочена к крутым подмываемым склонам правого высокого борта долины реки Москвы и сосредоточена преимущественно в пре-

делах Воробьевых гор и районах Коломенское и Фили-Кунцево. Формирование и развитие оползней выдавливания носит импульсный характер, обусловленный изменением напряженно-деформированного состояния из-за различного увлажнения пород склонов, влияния тектонических и техногенных факторов. Последние могут выступать в качестве триггеров.

Карстовые процессы на территории Москвы связаны с мощной толщей (более 300 м) карбонатных пород каменноугольного возраста, залегающей на глубине нескольких десятков метров под песчано-глинистой толщей мезо-кайнозойских отложений. Благоприятные условия для распространения современного карста прослеживаются в пределах долины р. Москвы на участках, которые унаследованно развиваются над зонами совмещения доюрских и доледниковых долин. Большое количество карстовых западин и воронок приурочено к району Хорошевского шоссе, характеризующегося в геологическом плане телескопированием Хорошевской нижненеоплейстоценовой палеодолины р. Москвы над Рублевским притоком Главной московской доюрской ложбиной.

Природное заболачивание, связанное с особенностями строения и формирования ландшафта, получает преимущественное развитие в пределах Мещерской низменности, долинного комплекса р. Москвы и ее основных притоков.

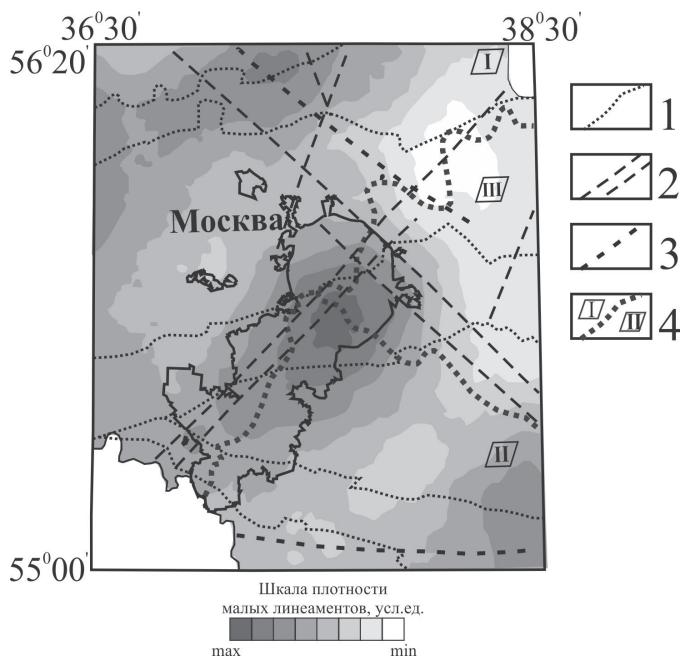
Техногенные факторы при определенных условиях могут инициировать развитие опасных экзогенных процессов. Наиболее подвержена техногенному влиянию верхняя часть отложений до глубин порядка 10–20 м, в пределах которой выполняется основной комплекс площадных подземных работ, связанных с возведением сооружений и прокладкой коммуникаций. Изменчивость литологического состава верхней части разреза обуславливает неравномерность проявления природно-техногенных процессов (оседания, подтопления, образование агрессивных сред, связанных с утечками из коммунальных сетей и т.п.).

Антропогенное воздействие на техногенно-нарушенную среду способствует частичной трансформации природных геофизических полей (температурного, электромагнитного, микросейсмического и др.), которые проявляются с различной степенью интенсивности в районах, различающихся степенью геодинамической активности и уровнем антропогенной нагрузки.

### **Интерпретация результатов автоматизированного дешифрирования космоснимков**

Особенности рельефа вышеописанных геоморфологических областей прослежены в рисунке линеаментов, в поле плотности линеаментов и ориентировании роз-диаграмм (рис. 2). Поле плотности малых линеаментов отражает различную степень техногенной нагрузки на окружающую среду. Впервые это было отмечено авторами для территории Семипалатинского полигона [Горбунова, 2004]. В пределах мегаполиса наблюдается уменьшение плотности малых линеаментов от центра к периферии, что соответствует уменьшению степени антропогенной освоенности.

Район Смоленско-Московской возвышенности характеризуется серией линий преимущественной вытянутости роз-диаграмм ЮЗ-СВ направления. Мещерская низменная равнина представлена в линеаментном рисунке пучком расходящихся из центра линий вытянутости роз-диаграмм субширотного и СЗ-ЮВ направлений (рис. 1).



**Рис. 2.** Совмещенный план поля плотности малых линеаментов и структур кристаллического фундамента Московского региона [Отчет, 1999].

(1) – границы авлакогенов; (2–3) – протяженные линеаменты, выделенные по данным дешифрирования: 2 – автоматизированного, 3 – ручного; (4) – границы геоморфологических областей

В пределах Москворецко-Окской равнины линеаментные формы проявлены неравномерно. В юго-западной части мегаполиса выделяется серия субпараллельных линеаментных форм ЮЗ-СВ и субширотного простираний. Предположительно, последние маркируют направление серии ледниковых и водно-ледниковых гряд временем московского оледенения. На Третостанской возвышенности линии преимущественной вытянутости роз-диаграмм отсутствуют, но в поле плотности возвышенность выражена максимальными значениями, что, вероятно, связано с большим количеством разноориентированных линеаментов.

Границы геоморфологических областей трассируются протяженными линеаментами и субпараллельными им линиями преимущественной вытянутости роз-диаграмм малых линеаментов (линеаментными формами). В структуре линеаментного поля южная граница Смоленско-Московской возвышенности подчеркнута двумя протяженными субпараллельными линеаментами ЮЗ-СВ простирания. Зона динамического влияния этих линеаментов контролируется линеаментными формами. В рельефе простирание рассматриваемой зоны субпараллельно ориентирована основная гряда Смоленско-Московской возвышенности и совпадает с простиранием разломов, ограничивающим Среднерусский – Гжатско-Сергиев-Посадский авлакоген.

В рисунке линеаментных форм Павлово-Посадский разлом представлен серией субпараллельных линий вытянутости роз-диаграмм, совпадающих на западе нового мегаполиса с его субширотным простиранием, в пределах МКАД – с ЮЗ-СВ.

В геодинамическом отношении на территории Москвы выделены Москворецкая и Лихоборская геодинамически активные зоны, которые являются границами

между морфоструктурами, различающимися современной и неотектонической активностью [Дорожко, 2014]. Москворецкая геодинамически активная зона совпадает с долиной р. Москвы и входит в состав Москворецко-Рязанской линеаментной зоны СЗ-ЮВ простирания. Москворецкая активная зона разделяет районы с разной интенсивностью современных движений и разные геоморфологические области.

Москворецкая протяженная линеаментная зона ЮВ-СЗ простирания прослеживается в структурном рисунке линеаментов в северо-восточной части мегаполиса при автоматизированном дешифрировании и определена как геодинамически активная Москворецкая зона [Макаров, 2010]. Зона ее динамического влияния фрагментарно совпадает с границей геоморфологических районов Мещерской низменности и Окско-Москворецкой равнины. Пересечение протяженных линеаментных зон находится в междуречье р. Яузы и Москва-реки. Современное русло р. Яузы дугообразно огибает с востока, предположительно, кольцевую структуру, сформированную над зоной пересечения протяженных линеаментов.

К долинному комплексу р. Лихоборка приурочена геодинамически активная зона субширотного простирания – Лихоборская, которая выделена в пределах одной геоморфологической области и является структурой подчиненного ранга относительно Москворецкой зоны. Геодинамически активные зоны характеризуются повышенной трещиноватостью, флюидо- и газопроницаемостью горных пород, аномалиями геофизических полей, в том числе повышенными концентрациями радона.

По данным замеров, выполненных сотрудниками ИГЭ РАН на территории Москвы, поле природного радона неоднородно [Микляев, 1997]. Некоторое повышение плотности потока отмечается как вдоль Лихоборской геодинамически активной зоны, так и сопряжено с линеаментной зоной ЮВ-СЗ простирания, оперяющей Лихоборскую, а также приурочено к долине р. Москвы и ряду ее притоков. На наш взгляд, это связано с повышенным содержанием глинистых отложений, выполняющих древние и современные эрозионные врезы, приуроченные к зонам повышенной трещиноватости пород.

Южная субширотная зона повышенных значений плотности радона протягивается от верховьев современной р. Очаковки вдоль долины рек Чертановки и Городни. Эти формы рельефа являются унаследованными и трассируют положение доюрской Чертановской долины, которая располагается над Коломенской флексурой, прослеженной по кровле верейского горизонта среднего карбона, сформированной над Павлово-Посадским глубинным разломом фундамента.

## Заключение

В пределах новых границ Москвы под влиянием длительной антропогенной нагрузки формируется специфическая природно-техногенная среда. Неоднородность техногенного воздействия на сложно-структурную геологическую среду предопределяет особенности развития опасных экзогенных процессов и условия формирования геофизических полей.

Результаты проведенных исследований указывают на возможность применения метода автоматизированного дешифрирования не только для природных и природно-техногенных систем, но и для урбанизированных территорий. При использовании метода для районов с интенсивной антропогенной нагрузкой увеличивается роль интерактивной составляющей при обработке космических снимков.

Свойство рентгеноскопичности, возрастающее с уменьшением разрешающей способности, позволяет проследить выраженность глубинных структур кристаллического фундамента, транслируемых через осадочный чехол, в морфоструктурном плане территории. Частичное проявление глубинных разломов в разновозрастных структурных планах и в поле линеаментов косвенно свидетельствует об их геодинамической активности на разных этапах геологического развития региона.

Выполненный анализ закономерностей строения линеаментного поля, рассмотренных геоморфологических областей, характеризующихся различной интенсивностью неотектонических поднятий, позволил исследовать природно-техногенную среду Московского региона.

*Работа выполнена при поддержке программы 8 ОНЗ РАН и РФФИ (проект № 13\_05\_00950).*

## Литература

*Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Современные геодинамически активные зоны центральной части Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2013. т. 452. № 5. С. 558–561. DOI: 10.7868/S0869565213300178.*

*Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Изучение геолого-структурной обстановки вокруг испытательных скважин Семипалатинского полигона методом автоматизированного дешифрирования космических снимков // Международная конференция «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий». Вестник НЯЦ РК. Курчатов: НЯЦ РК. 2004. С. 76–81.*

*Дорожко А.Л. Неотектоника, геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение: Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.г.-м.н. М. 2014. 26 с.*

*Иванченко Г.Н. Интерпретация результатов автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования при оценке современной геодинамической активности: Диссертация. М.: ИДГ РАН. 2012.*

*Макаров В.И. Новейшие геодинамически активные зоны платформенных территорий: концептуальные основы и методические принципы выделения и изучения // «Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы»: XVI международная конференция. Воронеж, 20–25 сентября 2010г.: в 2-х т. Воронеж: Научная книга. 2010. С. 28–33.*

*Микляев П.С., Макаров В.И., Дорожко А.Л., Петрова Т.Б., М.А. Мореный, А.М. Мореный, В.М. Мореный, Макеев В.М. Родоновое поле г. Москвы // Геоэкология. 2013. № 2. С. 172–187.*

*Москва. Геология и город / Под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: Московские учебники и Картолитография. 1997. 400 с.*

*Отчет по проведению аэрогеофизических работ для обеспечения геофизической основы геолого-съемочных работ масштаба 1:200 000 на территории Московского региона в 1993–1998 гг. М.: Аэрогеофизика. 1999.*

*Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // Computers & Geosciences. 1997. V. 23. No. 1. P. 45–62.*