

К.А. Боярчук (ОАО «НИИЭМ»)

В 1983 г. окончил физический факультет Ленинградского государственного университета. Специалист в области дистанционного зондирования Земли. В настоящее время — генеральный директор ОАО «НИИЭМ». доктор физико-математических наук.

Л.В. Милосердова (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина)

В 1972 г. окончила Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «геологическая съемка и поиски месторождений полезных ископаемых». В настоящее время — доцент кафедры теоретических основ поисков и разведки нефти и газа РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. Кандидат геолого-минералогических наук.

М.В. Туманов (ОАО «НИИЭМ»)

В 2006 г. окончил Московский государственный университет путей сообщения по специальности «вычислительные машины, комплексы, системы и сети». В настоящее время — начальник центра ОАО «НИИЭМ».

Космический мониторинг геодинамической обстановки древних платформ

ВВЕДЕНИЕ

Современные космические средства дистанционного зондирования Земли позволяют не только получать обзорные и высоко детальные изображения ее поверхности, обеспечивать информацией различные отрасли народного хозяйства страны, но также осуществлять мониторинг чрезвычайных ситуаций в различных районах. Космический мониторинг геодинамической обстановки может разрешить вопросы безопасного землепользования и предотвратить чрезвычайные ситуации на жизненно важных объектах [1, 2].

Считается, что на древних платформах новейшие и современные движения земной поверхности чрезвычайно малы (до 5–10 мм/год). Однако результаты

изучения современных движений земной коры на геодинамических полигонах выявили наличие интенсивных локальных движений, которые имеют пульсационный и короткопериодический характер [3].

Обнаружение таких деформаций в асейсмичных районах приводит к коренному пересмотру представлений о современных движениях земной коры платформенных регионов. В настоящее время зоны разломов уже не рассматриваются только как ослабленные участки геологической среды, по которым происходят взаимные перемещения блоков земной коры. Считается, что внутри самих зон разломов протекают процессы, способствующие таким перемещениям, в результате чего формируются локально-неоднородные, нестабильные во времени поля напряжений [4, 5]. Инженерно-строительная деятельность, нарушаю-

щая естественное состояние земной поверхности вносит дополнительное возмущение в поле напряжений верхней части земной коры

Поэтому не удивительно, что в настоящее время интенсивно развиваются различные методики, решающие вопросы безопасного и эффективного освоения недр, земной поверхности и землепользования с учетом характера и интенсивности техногенного воздействия на массив горных пород и современного геодинамического состояния литосферы.

Очевидно, что системы разломов различного ранга и движения по ним необходимо выявлять и контролировать, главным образом в густонаселенных районах и в районах с интенсивной инженерно-хозяйственной деятельностью. Наиболее оптимально для этой цели использовать технологии, оптимально сочетающие методы компьютерной обработки космоснимков, с экспертной оценкой результата на начальной, промежуточных и окончательной стадии работы [6, 7]. По нашему мнению наилучшим материалом для выявления разломов и блоков различного ранга являются космические снимки различного разрешения, так как этот объективный материал свободен от искусственной картографической генерализации.

Такие методы в масштабе времени близком к реальному, позволяют выделить на космических изображениях линеаменты, отражающие поверхностные разломы. А статистически обработанные их фрагменты с различной степенью достоверности отражают элементы и глубинных структур (прежде всего их ориентировку) и способствуют структурно-геодинамическим реконструкциям [8].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В настоящей работе приводятся результаты дешифрирования разломно-блокового строения на различных масштабных уровнях в Западном Подмоскowie – в Истринском районе (рис.1).

Территория Истринского района расположена в пределах Русской плиты и обладает среднерасчлененным рельефом, обусловленным эрозионно-тектоническими факторами. Многие элементы рельефа генетически связанные с ледниковой деятельностью, (морены, зандровые равнины и др.), несомненно,



*Рис.1. Обзорная карта района работ.
1 — Изображения КА «Метеор-М» №1,
2 — КА Landsat-7*

обусловлены и движениями земной коры на новейшем отрезке геологического времени. Истринский район расположен на двух природных зонах. Западная часть располагается на Клинско-Московской вторичной моренной равнине, покрытой мощной толщей четвертичных отложений. В восточной части Истринского района мощность четвертичных отложений значительно меньше, причем есть участки, где коренные породы лежат на глубине всего три метра. Характерной особенностью рельефа являются глубокие сквозные долины, пересекающие ее с севера на юг, из-за чего она как бы разрезана на ряд отдельных массивов. В связи с такой морфологией здесь довольно широко развита овражно-балочная сеть.

Для выявления разломно-блоковой структуры территорий обычно используются и морфометрические методы, основанные на анализе рельефа по топографическим картам. Поэтому результат изучения привязан к картам определенного масштаба, соотносимо не с природой изучаемых объектов, а с их разграфкой. Как правило, при применении морфометрического метода блоковые структуры выделяют по

индикационным признакам разломов, ограничивающим блоки, а их однородность оценивают по индикационным признакам самих блоков. По результатам таких работ [9] г. Истра расположен на сочленении блоков II ранга, граничащих между собой по меридиональному разлому, из которых западный относительно опускается (отметки водораздельных поверхностей 230), а восточный — поднимается (отметки водораздельных поверхностей 290). На более детальной карте блоков III ранга этих же авторов район г. Истра является сосредоточением уже трех блоков, то есть представляет собой тектонически напряженный участок. На территории Истринского района Московской области, имеют место активные в настоящее время с высокоградиентными (свыше 50 мм/год), короткопериодичными (от 0,1 года до первых лет), пространственно локализованными (от 0,1 до первых десятков километров) движения, пульсационной и знакопеременной направленности.

Для изучения разломно-блокового строения Истринского района предпочтительнее использовать данные дистанционного зондирования различного уровня детализации: низкого, среднего и высокого. Такое разделение обусловлено необходимостью дешифрирования разломно-блокового строения на

различных масштабных уровнях исследуемой территории.

Рассматривая перспективные отечественные системы ДЗЗ для решения данной задачи можно выделить следующие космические аппараты (КА): для низкого разрешения - КА «Метеор-М» №1 [13], для среднего разрешения — КА «Канопус-В» №1 [12], для высокого разрешения — КА «Картограф» [11].

В настоящее время КА «Канопус-В» №1 и КА «Картограф» только планируется к запуску поэтому было решено использовать данные с аналогичных зарубежных КА Landsat-7 [14] и ALOS/PRISM [10]. Технические характеристики съемочной аппаратуры данных КА приведены в табл. 1.

Ввиду того, что Подмоскovie является практически полностью антропогенно измененной территорией, полностью покрытой искусственными посадками (включая искусственно созданный холм Ново-Иерусалимского монастыря) с густой сетью коммуникаций, мы отказались только от компьютерного дешифрирования и сосредоточились на экспертном (визуальном) варианте, с ландшафтным контролем выделяемых объектов.

Дешифрировались синтезированные изображения

Таблица 1

Технические характеристики съемочной аппаратуры космических аппаратов

Наименование	«Метеор-М» №1 (МСУ-МР)	«Канопус-В» №1	Landsat-7 (ETM+)	ALOS/PRISM
Спектральный диапазон, мкм	0,5 – 12,5	0,54 – 0,86	0,52 – 0,90	0,52 – 0,77
Полоса захвата, км	2800	23	185	35
Пространственное разрешение, м	1000	2,1	15	2,5
Радиометрическое разрешение, бит на пиксел	10	8	8	8
Основное назначение	Гидрометеорология	Мониторинг ЧС	Картография	Картография
Дата запуска	17.09.2009 г.	Нет	15.04.1999 г.	24.01.2004 г.

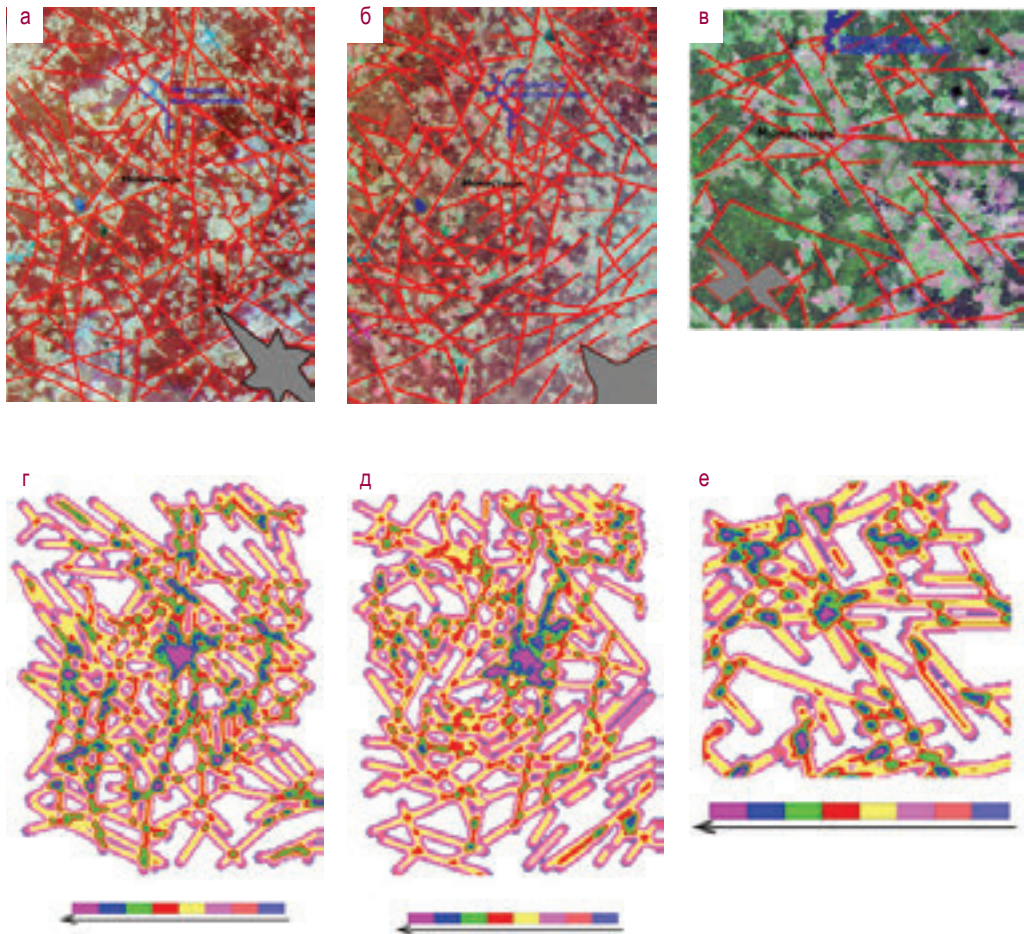


Рис. 2. Схемы дешифрирования линеаментов на космических изображениях спутника «Метеор-М» №1 и их розы-диаграммы:

а — весенний снимок (11 апреля 2010), б — осенний снимок (7 октября 2010), в — летний снимок Landsat;

Плотности линеаментов (стрелка показывает увеличение плотностей):

г — на весеннем, д — на осеннем, е — на снимке Landsat

со спутника «Метеор-М» №1 в спектральных каналах 1 (830 нм), 2 (655 нм) и 3 (555 нм), полученные весной (11 апреля 2010) и осенью (7 октября 2010), а также более детальное синтезированное изображение КА Landsat-7. Выбор именно этих сезонов обусловлен необходимостью максимально уменьшить влияние растительного

покрова. Результаты компьютерного дешифрирования с помощью программы LESSA [6] приведены на рис. 2 а, б, в соответственно. Здесь представлены схемы линеаментов и розы-диаграммы простираний линеаментов и их плотностей.

На приведенных изображениях отчетливо видно, что

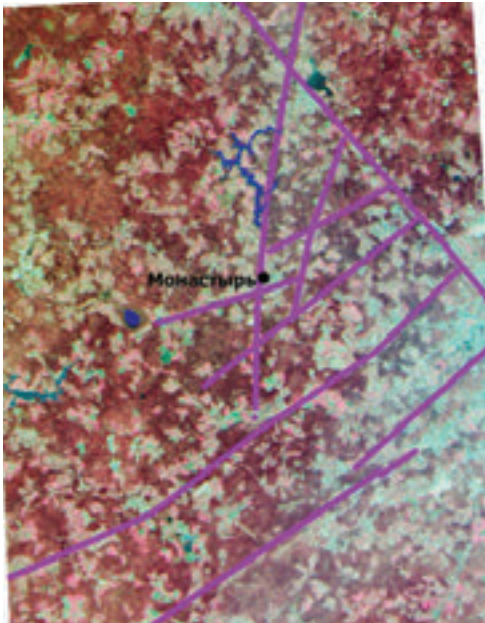


Рис.3. Схема интерпретации разломов в районе г. Истра и Воскресенского Ново-Иерусалимского Ставропигиального мужского монастыря, на фоне снимка КА «Метеор-М» №1

изображения, полученные в различные сезоны, несколько отличаясь друг от друга, тем не менее, имеют и общие черты. Это отчетливо видно на розах-диаграммах, которые выделяют северо-восточные, северо-западные линеаменты, а также, на весеннем изображении – меридиональный линеамент. Плотности распределения линеаментов и их узлы приведены на нижних рисунках (рис. 2 г, д, е). Цветом выделяются узлы сгущений линеаментов. Максимальный узел, отчетливо выделяющийся на территории города Истры, возможно, следует интерпретировать как результат дополнительной антропогенной нагрузки на ландшафт.

На более детальном снимке КА Landsat-7 (рис. 2 в, е), доминируют линеаменты других направлений и другого размерного ранга. Они имеют преимущественно субширотную и северо-западную ориентировки. И узел их сгущения расположен на пересечении зоны

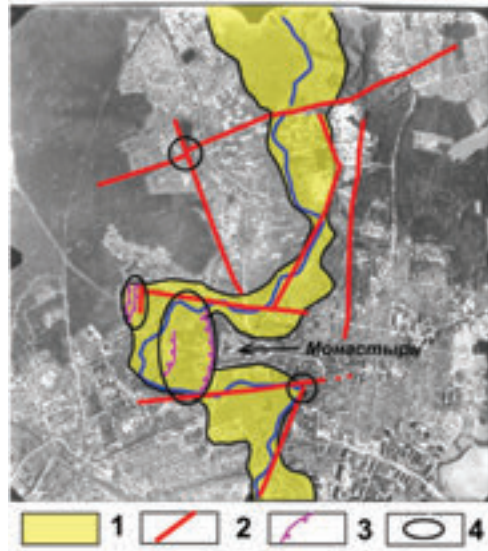


Рис. 4. Аэрофотоснимок и схема его дешифрирования:

1 — четвертичные отложения пойменные и надпойменной террасы, 2 — разломы, 3 — предполагаемые оползни, 4 — тектонически напряженные участки, требующие наземных исследований

субширотных и северо-западных линеаментов в районе Ново-Иерусалимского монастыря.

Сопоставляя все данные, на изображении в районе г. Истры устойчиво и воспроизводимо выделяется закономерная система линеаментов, состоящая из субмеридионального (азимут 20°) проходящего через западную окраину г. Истра меридиональный фрагмент Истринского водохранилища и северо-северо-западного (азимут 320°), пересекающего первый в районе г. Солнечногорск. Эти два линеамент образуют клин, раскрывающийся к югу. Этот клин пересекается системой субпараллельных субэквидистантных линеаментов северо-западного (азимут 45°), простирая отстоящих друг от друга примерно на 1,7км. Кроме того здесь можно выделить два отдельных линеаментов. Первый из них — субширотный (азимут 80°), проходит от южной оконечности оз.Тростенское до г. Истры, совпадая с широтным течением р. Малая

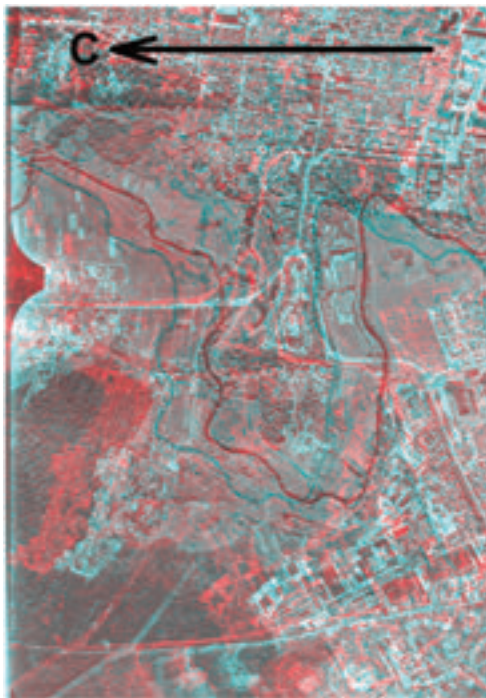


Рис.1. Обзорная карта района работ.
1 — Изображения КА «Метеор-М» №1,
2 — КА Landsat-7

Истра. Второй северо-западного простирания (азимут 30°), как показано на рис. 3.

Таким образом, можно считать, что по данным дешифрирования космических снимков территория, на которой расположен г. Истра и Воскресенский Ново-Иерусалимский Ставропигиальный мужской монастырь, представляет собой узел пересечения разломов и является тектонически напряженным участком земной коры.

Более детальные космические данные высокого разрешения позволяют отчетливо дешифрировать геологическое строение особенно при использовании стереосъемки. Для этой цели наиболее удобно было использовать данные с японского спутника ALOS/PRISM, к сожалению, во время подготовки рабочих материалов в 2011 году он прекратил работу и был выведен из эксплуатации 12 мая 2011 г. [15]. В связи

с этим для работы в данном масштабном диапазоне мы использовали стереопары аэрофотосъемки.

На аэрофотоснимках, представляющих еще более детальный уровень изучения главным признаком является рельеф (рис.4). На снимке видна пойма р. Истра и ее террасы. Прямолинейные перепады рельефа, не обусловленные антропогенными факторами, резкие сужения долины и угловатые перегибы р. Истра интерпретируются как результаты новейших и современных движений по разломам.

Характерные дугообразные очертания линий резкого перепада рельефа указывают на наличие здесь оползней, один из которых располагается между монастырем и излучиной р. Истра, а другой на противоположном склоне долины р. Истра. Чтобы убедиться в этом, можно воспользоваться анаглифическим стереоизображением (рис.5).

Для точного определения являются, или нет, выделенные участки активными в настоящее время, или напряжения уже разрешились в результате зафиксированных на снимках перемещениях, можно надежно определить при осуществлении непрерывного космического мониторинга исследуемых областей или традиционными полевыми методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование космических изображений разных масштабов в принципе дает возможность сделать заключение о геологической структуре исследуемой местности, как альтернатива морфометрическим методам анализа, основанным на анализе рельефа топографических карт, корректировка которых происходит в лучшем случае раз в несколько десятилетий. В случае использование космических данных работа происходит непосредственно с реальным («живым») изображением поверхности Земли. Что позволяет осуществлять мониторинг района и оперативно выявлять наиболее геоактивные зоны, требующие внимания при планировании строительства важных объектов или учитывать их при эксплуатации уже существующих.

Для подтверждения эффективности использования космических методов были осуществлены исследования древней платформы в западной части московской области на основе обработки космиче-

ских снимков разных масштабов. Были получены следующие результаты:

- подтверждено наличие разломов на территории Истринского района, ограничивающих тектонические блоки, перемещающиеся друг относительно друга;
- на разных исходных материалах и используемых разрешениях изображений картина выделяющихся блоков оказывается несколько различной, отражая различные иерархические уровни наблюдаемых объектов;
- территория г. Истры и Ново-Иерусалимского монастыря находится в узле сочленения крупных тектонических блоков, геологические проявления которого в рельефе наблюдаются на стереопарах и сопровождаются оползнями.

Для выяснения интенсивности и скорости современных перемещений грунта необходимы непосредственные детальные наблюдения в выявленных точках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фортвов В.Е., Федоров М.П., Елистратов В.В. Научно-технические проблемы гидроэнергетики после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, - *Вестник РАН*, 2011, том 81, №7, с. 579 – 586.
2. Боярчук К.А., Горшков А.И., Кузнецов И.В., Пиотровская Е.П., Милосердова Л.В., Малушина Н.И. Использование спутниковых данных для разведки недр и идентификации тектонически неустойчивых структур, - *Международный Российско-Американский научный журнал "Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем"*, 2009, Вып. 1 (28), том 14, с. 31 – 43.
3. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. *Современные деформации земной коры осадочных бассейнов*. М.: Наука, 1989, 199 с.
4. Кузьмин Ю.О. Аномальная геодинамика недр. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов. <http://www.yabloko.ru/Themes/SRP/Geo/srp-geo-2.html>, 2000 г.
5. Кузьмин Ю.О., *Современная геодинамика разломных зон осадочных бассейнов и процессы подготовки землетрясений.// Прогноз землетрясений*, №11, М.: Душанбе: Дониш, 1989, с.52-60.
6. Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов*. Сборник научных статей. Том 8. Номер 3. – М.: ООО «ДоМира», 2011. –320 с.
7. Боярчук К.А., Милосердова Л.В., Туманов М.В. Геологическая информативность снимков «Метеор-М» №1 (На примере Центральной Африки), - *Вопросы электромеханики*, 2010, том 118, № 5, с. 23 – 30.
8. Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Макаров В.И., Щукин Ю.К. Мониторинг геодинамической обстановки центральной части русской плиты с использованием данных дистанционного зондирования, - *Тезисы докладов международной конференции, посвященной памяти В.Е.Хаина*. М., 2011.
9. Алексеев В.К., Батугин А.С., Батугина И.М., Гаранькин Н.В., Калинин А.М., Петухов И.М., Челпан П.И. Геодинамическое районирование территории Московской области, Ступино: «СМТ», 2003.
10. Возможности картографической стереокамеры PRISM спутника ДЗЗ ALOS / М.А. Болсуновский, А.В. Беленов // *Геопрофи: электронный журнал по геодезии, картографии и навигации*. – М., 2006. – № 6. – С. 28 – 31
11. Ю.И. Носенко, П.А. Лошкарев. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ — проблемы, решения, перспективы (часть 1) / *Геоматика* №3(8), 2010 г
12. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» №1. –М.:ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2011. – 110с.
13. Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» №1: справочные материалы – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. – 144 с.
14. <http://www.sovzond.ru/satellites/436/441.html>
15. <http://www.sovzond.ru/satellites/456/457.html>