

УДК 55:551.248.1:551.4 (470.4/.5)

Л.В. Панина<sup>1</sup>, В.А. Зайцев<sup>2</sup>

## ВЛИЯНИЕ ФУНДАМЕНТА НА ФОРМИРОВАНИЕ НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1

Moscow State University, Faculty of Geology. 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Структурно-геоморфологические исследования большей части территории Восточно-Европейской платформы выявили сводово-блоковый стиль новейших дислокаций. 3D геодинамическое моделирование показало прямую корреляцию ( $K=0,26$ ) структур фундамента и рельефа дневной поверхности, что свидетельствует о непосредственном геодинамическом воздействии фундамента на структуру чехла платформы. Рассчитанное новейшее поле напряжения для территории Среднерусской возвышенности, Клино-Дмитровской гряды, Мещерской впадины и Окско-Донского прогиба позволило установить участки, которые находятся в условиях, близких к механическому разрушению, и являются сейсмоопасными.

*Ключевые слова:* неотектоника, структурно-геоморфологический анализ, слабая зона, разрывы, сейсмичность, 3D геодинамическое моделирование, Восточно-Европейская платформа.

Structural and geomorphological researches of the most part of the East European platform revealed arch-block style of the latest dislocations. 3D geodynamic modeling showed direct correlation ( $T_0 = 0, 26$ ) of the basement structures with the modern relief surface that demonstrates direct geodynamic basement influence on the cover structure of the platform. The calculated newest tension field for the territory of Central Russian Height, Klin-Dmitrov Ridge, Meshersky and Oka-Donskoy depressions allowed to establish the sites closed to mechanical destruction and are seismodangerous.

*Key words:* neotectonics, structure and geomorphologic analysis, weak zone, faults, seismicity, 3D geodynamic modeling, East European platform.

**Введение.** Вопросами соотношения глубинных и новейших структурных планов занимались И.П. Герасимов, Ю.А. Мещеряков, С.К. Горелов, Р.Н. Валеев, В.И. Макаров и др. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных неотектонике и геодинамике Восточно-Европейской платформы, взаимоотношение древних структур ее фундамента с поверхностными дислокациями еще недостаточно изучен. Появившиеся в последнее время геолого-геофизические данные о глубинной структуре фундамента и осадочного чехла, а также радарные космические изображения и методики их обработки позволили с большей детальностью представить новейший структурный план платформы и сравнить его с глубинными дислокациями.

**Материалы и методы исследований.** К методам выявления новейших пликативных и разрывных структур равнинной территории Восточно-Европейской платформы относится структурно-геоморфологический, в основе которого лежит анализ гидросети и абсолютных отметок рельефа. Трудность представляет выделение разрывных

дислокаций, которые в условиях слабо расчлененного рельефа замаскированы молодыми рыхлыми образованиями и в большинстве случаев имеют малую амплитуду. Поэтому они называются слабыми зонами или линеаментами. Термин слабая зона, под которой понимают разрыв, трещину или зону трещиноватости и дробления пород был предложен Н.П. Костенко (1999) и использовался, как правило, при дешифрировании топографических карт. Этот термин подразумевает тектоническую природу дислокации. Часто, особенно при дешифрировании космических снимков, исследователи используют термин «линеамент», имеющий более широкое толкование. Поскольку природа дешифрируемых нами линейных структур не всегда достаточно ясна, мы в дальнейшем будем придерживаться термина «линеамент», в который мы вкладываем тектонический смысл.

При выделении линеаментов использовались такие признаки, как линейный характер речных долин или их фрагментов, системность или повторяемость их простирания, явление преломления (изменение простирания) долин, резкие изменения

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, доцент, канд. геол.-минер. н.; e-mail: panina53@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, вед. науч. с., канд. геол.-минер. н.; e-mail: v.zaitsev@mail.ru

ширины долины и другие известные признаки. Обобщение наиболее протяженных линеаментов и полей (участков сгущения отдельных линеаментов) позволило выявить генеральные направления, которые и сравнивались с глубинными структурами. Наряду с линеаментами выделены и пликвативные структуры — поднятия и впадины, в основу обнаружения которых были положены такие признаки, как радиально расходящийся рисунок гидросети в случае поднятий, оконтуривание речными долинами растущих поднятий, поведение русел и др., а также анализ абсолютных отметок рельефа.

В основу работы положены результаты визуального и компьютерного дешифрирования топографических карт и космических снимков, включая радарные изображения, данные полевых наблюдений, проведенных авторами в разные годы на территории Восточно-Европейской платформы. Полученные результаты сопоставлялись с геолого-геофизическими материалами и статистическими параметрами рельефа. Для оценки геодинамической активности привлечены материалы о проявлении сейсмичности и распределении теплового потока, а также результаты геохимических съемок. Дешифрирование проводилось в рабочем масштабе 1:500 000, для некоторых участков были выполнены более детальные исследования. В результате составлены структурно-геоморфологические карты Воронежской и Волго-Уральской антеклиз, Московской и Прикаспийской синеклиз, а также областей обрамления — прилегающей с юга Скифской и плиты и Предуральского прогиба, граничащего с платформой на востоке.

С целью выявления корреляции структур фундамента и рельефа дневной поверхности, а также расчета современного поля напряжения для территории Среднерусской возвышенности, Клиско-Дмитровской гряды и Окско-Донского прогиба было выполнено 3D геодинамическое моделирование.

**Результаты исследований и их обсуждение.**  
**Структурно-геоморфологический анализ Восточно-Европейской платформы.** Воронежская антеклиза имеет прямое выражение в современном рельефе и соответствует субмеридионально вытянутой Среднерусской возвышенности. Выделенные здесь две ветви разноранговых поднятий разделены узкими впадинами и нарушены системами линеаментов различных ориентировок, которые часто соответствуют глубинным разломам, установленным сейсмическим зондированием [Панина и др., 2016]. Сочетание пликвативных и блоковых дислокаций образует сводово-блоковый стиль, характерный для многих других районов Восточно-Европейской платформы. В области юго-восточного склона Воронежской антеклизы новейшие поднятия создают в рельефе своеобразный концентрический рисунок. Проведенный здесь анализ линий вытянутости роз-диаграмм эрозионной сети с помощью

программы LESSA [Златопольский, 1988] выявил преобладание линеаментов северо-западного простирания, которые коррелируют с разломами фундамента [Панина, Зайцев, 2012]. Северо-западные линеаменты контролируют границы новейших поднятий в северной части Среднерусской возвышенности Чеховского, Калужского, Веневского, Зарайского, Плавского (рис. 1). Корреляция их с разломами фундамента позволяет говорить о влиянии Пачелмского авлакогена на формирование новейших дислокаций. Некоторые из линеаментов, наследующих глубинные разломы, имеют свое продолжение в области Окско-Донского прогиба, расположенного восточнее Среднерусской возвышенности.

К показателям геодинамической активности новейших структур Воронежской антеклизы относится сейсмичность. Анализ распределения эпицентров землетрясений на юго-восточном склоне Воронежской антеклизы показал их корреляцию с перифериями растущих поднятий, линеаментами и их пересечениями.

**Волго-Уральская антеклиза.** В новейшем структурном плане территория Волго-Уральской антеклизы представляет собой сочетание разноранговых поднятий и впадин, осложненных линеаментами и разрывными нарушениями. Крупные поднятия Бугульминско-Белебеевское и Общего Сырта (Среднего и Мелового Сырта), в целом характеризуются субширотной ориентировкой и в свою очередь включают локальные поднятия четырех направлений простираний — северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного. Поднятия разделены узкими впадинами-долинами и нарушены линеаментами указанных выше направлений простирания. Линеаменты часто ограничивают поднятия и разделяют блоки рельефа, на которые разбиты пликвативные структуры. Отдельные линеаменты и их системы служат отражением в рельефе разломов фундамента преимущественно северо-восточного и северо-западного простирания или представляют собой разрывы, что подтверждено геолого-геофизическими данными, как, например, субмеридиональный разлом, разрабатываемый долиной р. Белая и служащий границей Русской равнины и Предуральского прогиба.

Детальное дешифрирование в области Татарского свода — частной структуры Волго-Уральской антеклизы, — выявило густую регматическую сеть линеаментов, отражающую степень раздробленности платформенного чехла и фундамента. Сильнораздробленные зоны приурочены к участкам динамического влияния крупных разломов кристаллического фундамента, таких, как Прикамский и Алькеево-Пичкасский (Прикамская сдвиговая система в пределах Северо-Татарского свода), что подтверждается геофизическими данными. Многие выделенные линеаменты подтверждены

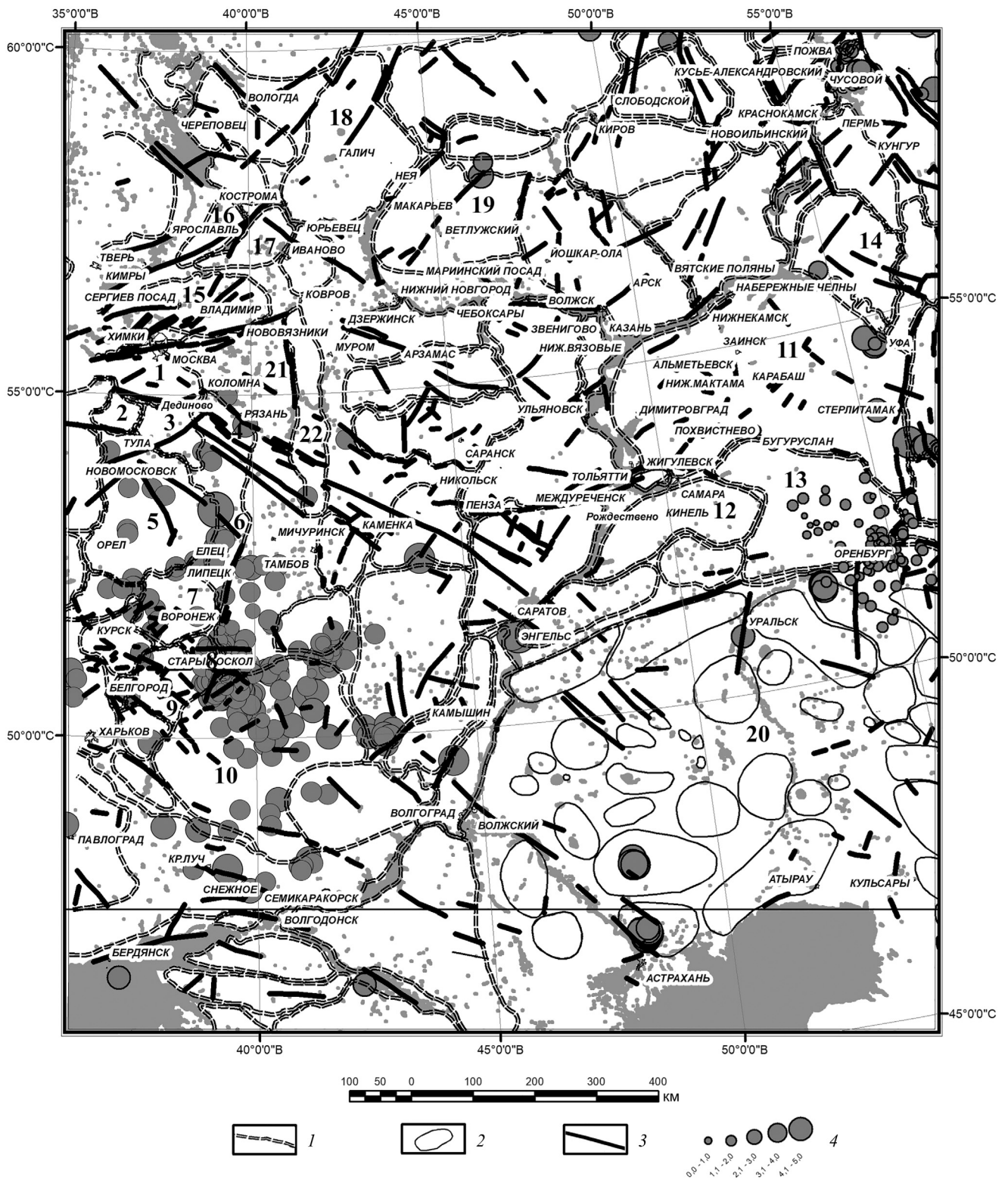


Рис. 1. Структурно-геоморфологическая карта Восточно-Европейской платформы с новейшими разрывами, унаследованными от фундамента: 1 — границы крупных поднятий; 2 — границы локальных поднятий в пределах Прикаспийской впадины; 3 — новейшие разрывы, унаследованные от фундамента, 4 — эпицентры землетрясений.

Цифрами обозначены: *поднятия*: Воронежская антеклиз: 1 — Чеховское, 2 — Калужское, 3 — Веневское, 4 — Зарайское, 5 — Плавское, 6 — Липецкое, 7 — Олымское, 8 — Кочетовское, 9 — Оскольское, 10 — Белогорско-Калачское; Волго-Уральская антеклиз: 11 — Бугульминско-Белебеевское, 12 — Средний Сырт, 13 — Меловый Сырт, 14 — Новотроицко-Урмантское; Московская синеклиз: 15 — Московско-Дмитровское, 16 — Ярославское, 17 — Нерехтинское, 18 — Галичское, 19 — Ветлужское. 20 — Прикаспийская синеклиз; 21 — Окско-Донской прогиб; 22 — Окско-Цнинский вал

аномальными значениями концентрации гелия и водорода в приземном слое [Хисамов и др., 2005].

Новейшие поднятия в одних случаях наследуют своды фундамента (Пермско-Башкирский, Южно-Татарский, Оренбургский), в других — коррелируют со структурами фундамента частично. Прямое соотношение с дислокациями тиманид характерно для локального Бугульминско-Белебеевского поднятия и расположенного к северо-востоку от него Новотроицко-Урмантского крупного поднятия. Встречаются и обратные соотношения. Границы крупных поднятий часто контролируются разломами архейско-протерозойского фундамента и тиманид. Субмеридионально ориентированные поднятия и линеаменты характерны для области сочленения с Уральским горным сооружением, что свидетельствует о влиянии последнего на формирование новейших дислокаций Восточно-Европейской платформы.

Выявленные новейшие дислокации активны. С ними часто связаны аномалии концентрации гелия и водорода; к перифериям растущих поднятий и некоторым линеаментам приурочены эпицентры землетрясений, повышенные значения теплового потока; они контролируют расположение нефтегазовых месторождений. Последние вытянуты вдоль линеаментов северо-восточного простирания, а самое большое Ромашкинское месторождение изометричной формы расположено в сводовой части активно развивающегося Бугульминского поднятия. Некоторые месторождения тяготеют к периферии новейших поднятий (Первомайское, Нефтекамское).

*Московская синеклиза* выражена в современном рельефе системой поднятий разного ранга, разделенных впадинами. К числу крупных поднятий относится субширотное Московско-Дмитровское, выделенное ранее [Макаров, 1996] и впоследствии более детально изученное [Мануилова, 2015; Панина и др., 2016]. Выявленные частные поднятия, различающиеся морфологией и размерами, прослеживаются в дочетвертичном рельефе (районы Хотьково, Яхрома, Дмитрова, Льялово, Менделеево, Истры и др). Одно из них — Истринское — выражено в меловых и в более древних каменноугольных и девонских отложениях и является отражением в рельефе так называемого Рузского выступа фундамента. Линеаменты северо-восточного и субширотного простирания коррелируют с разломами фундамента. Субширотные линеаменты по-видимому, отражают дислокации Подмосковского авлакогена. Разрывная природа многих выделенных линеаментов подтверждается при интерпретации геолого-геоморфологических профилей, а также приуроченностью к ним максимальных значений эманацій водорода.

Простирание новейших поднятий, расположенных к северо-востоку от Московско-Дмитровского, Ярославского и примыкающего к нему с юга

Нерехтинского поднятия контролируется Тверской ветвью Среднерусского авлакогена северо-восточного простирания (рис. 1). Такое же простирание характерно и для линеаментов, осложняющих расположенные восточнее пликвативные структуры, среди них и поднятие, соответствующее Галичской возвышенности, что, по-видимому, отражает влиянием Сухонской ветви Среднерусского авлакогена. Далее на восток — наряду с северо-восточными — в рельефе проявляется север-северо-восточные и субмеридиональные линеаменты. Простирание их коррелирует с Кировским и Ижевским авлакогенами. Дешифрируются в рельефе и линеаменты северо-западного простирания.

*Прикаспийская синеклиза* в современном рельефе соответствует одноименной впадине, осложненной поднятиями разного ранга и амплитуды, подробно описанными ранее [Панина, Зайцев, 2014]. Высокоамплитудные поднятия приурочены к восточной периферии Прикаспия, а малоамплитудные поднятия, представляющие собой погребенные положительные структуры, развиты в центральной части впадины. Некоторые поднятия связаны с соляным диапиризмом, как правило, обусловленным тектоническими движениями блоков фундамента. Визуальное и автоматизированное дешифрирование космических радарных изображений позволило выявить здесь линеаменты разного простирания. На юге, северо-западе и западе района преобладают линеаменты северо-западного простирания, на востоке — субмеридионального. Повсеместно распространены северо-восточные линеаменты. Субширотные линеаменты приурочены в основном к центральной части впадины. Наиболее протяженные из них наследуют разломы фундамента и отражаются в гравитационных и магнитных аномалиях.

Выявленные новейшие структуры по-разному коррелируют с глубинными дислокациями. Как правило, наблюдается частичное наследование поверхностными дислокациями древних. Особенно хорошее соответствие обнаруживается в периферических частях впадины, в областях сопряжения с Уральским орогеном и Скифской плитой. Характерна тенденция к разрастанию новейших поднятий по сравнению с глубинными структурами.

На основании структурно-геоморфологических исследований было установлено, что существует взаимосвязь новейших дислокаций Прикаспийской впадины с фундаментом и тектоникой Уральского орогена и Скифской плиты. Именно на восточной периферии впадины, где она граничит с Предуральским прогибом и его южным продолжением, сосредоточены высокоамплитудные поднятия, как правило, субмеридионального простирания, испытывающие устойчивое развитие начиная с миоцена. Скифская плита, втянутая в поднятие в позднем миоцене, находится под воздействием Кавказского орогена и влияет на

развитие Прикаспия, что отражается на простирации выделенных здесь линеаментов [Панина, Зайцев, 2014].

**3D геодинамическое моделирование.** В настоящее время создание трехмерных геологических моделей — обязательный элемент при проектировании и разработке нефтяных и газовых месторождений, подсчете запасов и составлении проектных технологических документов. Однако создание трехмерных геологических моделей может служить и для решения геодинамических задач — выделения областей наиболее вероятного формирования новых разрывных нарушений, трещиноватости, установления областей интенсивных вертикальных движений при заданном напряженном состоянии, прогнозе сейсмичности. Построение трехмерной модели позволяет соединить информацию об объекте исследования в одном программном проекте и визуализировать ее. Таким образом, собранные разномасштабные данные в трехмерной модели можно одновременно обрабатывать, сопоставлять и анализировать с большей достоверностью и точностью. 3D модели новейшей геодинамики можно создавать в разном масштабе от регионального до локального в зависимости от поставленной задачи. При этом меняется комплекс параметров, который включается в модель.

Нами рассмотрена модель для территории Среднерусской возвышенности, Московско-Дмитровского поднятия (Клинско-Дмитровской гряды), Мещерской впадины и Окско-Донского прогиба (рис. 2). В модели анализируются рельеф

дневной поверхности, линеаменты, новейшие поднятия и впадины, структурная карта фундамента, разрывные нарушения фундамента, карта теплового потока и маломagnitudeные землетрясения, которые были зафиксированы местной сейсмической сетью (рис. 3). Подробно эти параметры изложены в статье [Панина и др., 2016].

За период с 1998 по 2012 г. здесь было зафиксировано 296 землетрясений и лишь 13 из них имели  $M > 2,5$ , т.е. могли быть зафиксированы мировой сейсмической сетью. Почти все землетрясения имели приповерхностный очаг (глубина до 10 км) и только у 5 сейсмических событий очаг был расположен в интервале от 30 до 35 км. Отметим, что многие сейсмические события находят отражение в новейших дислокациях. Так, эпицентры низкомagnitudeных землетрясений в одних случаях тяготеют к границам растущих поднятий юго-восточного склона Воронежской антеклизы (Кочетовского, Оскольского и Белогорско-Калачского), в других — выстраиваются вдоль линеаментов, нарушающих Белогорско-Калачское поднятие. Относительно более высокомagnitudeные землетрясения приурочены к узлам пересечения линеаментов. Характерна прямая зависимость между плотностью линеаментов и эпицентрами землетрясений.

Изучение напряженного состояния этой территории выполнено в специальном программном модуле с помощью упругой конечно-элементной модели (elastic stress). Указанный метод позволяет сравнительно точно описывать возможные кон-

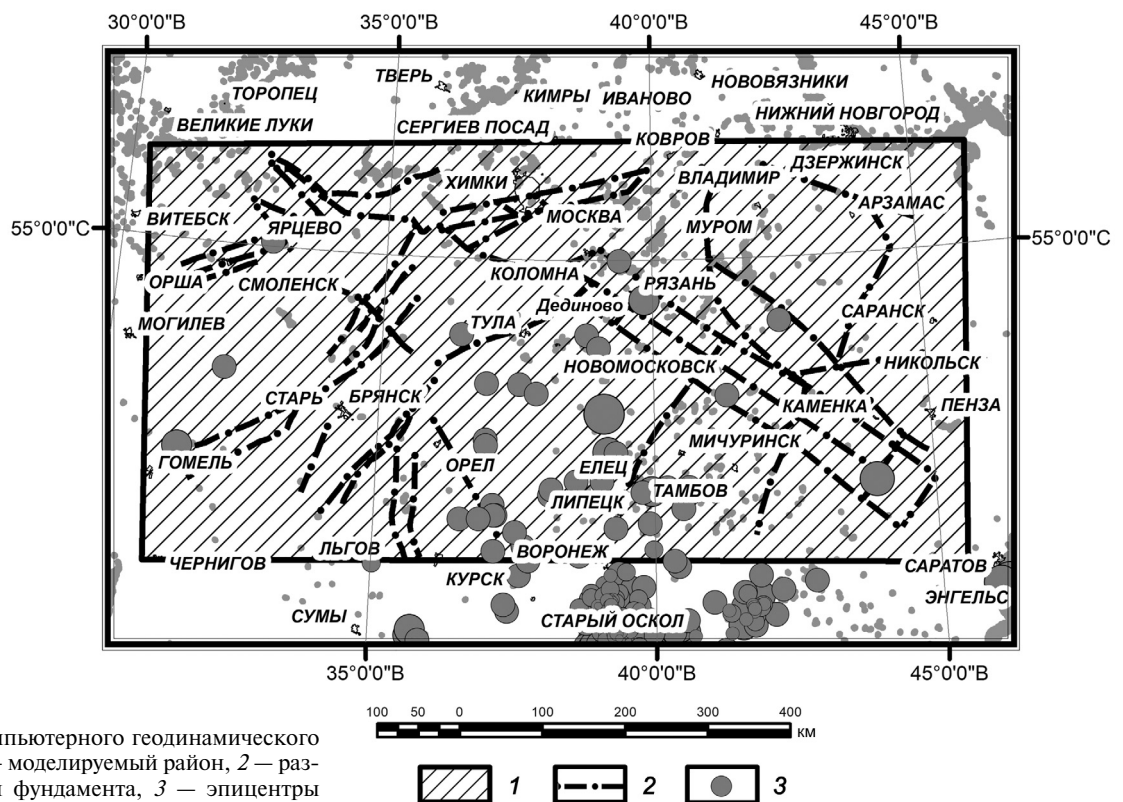


Рис. 2. Область компьютерного геодинамического моделирования: 1 — моделируемый район, 2 — разрывные нарушения фундамента, 3 — эпицентры низкомagnitudeных землетрясений

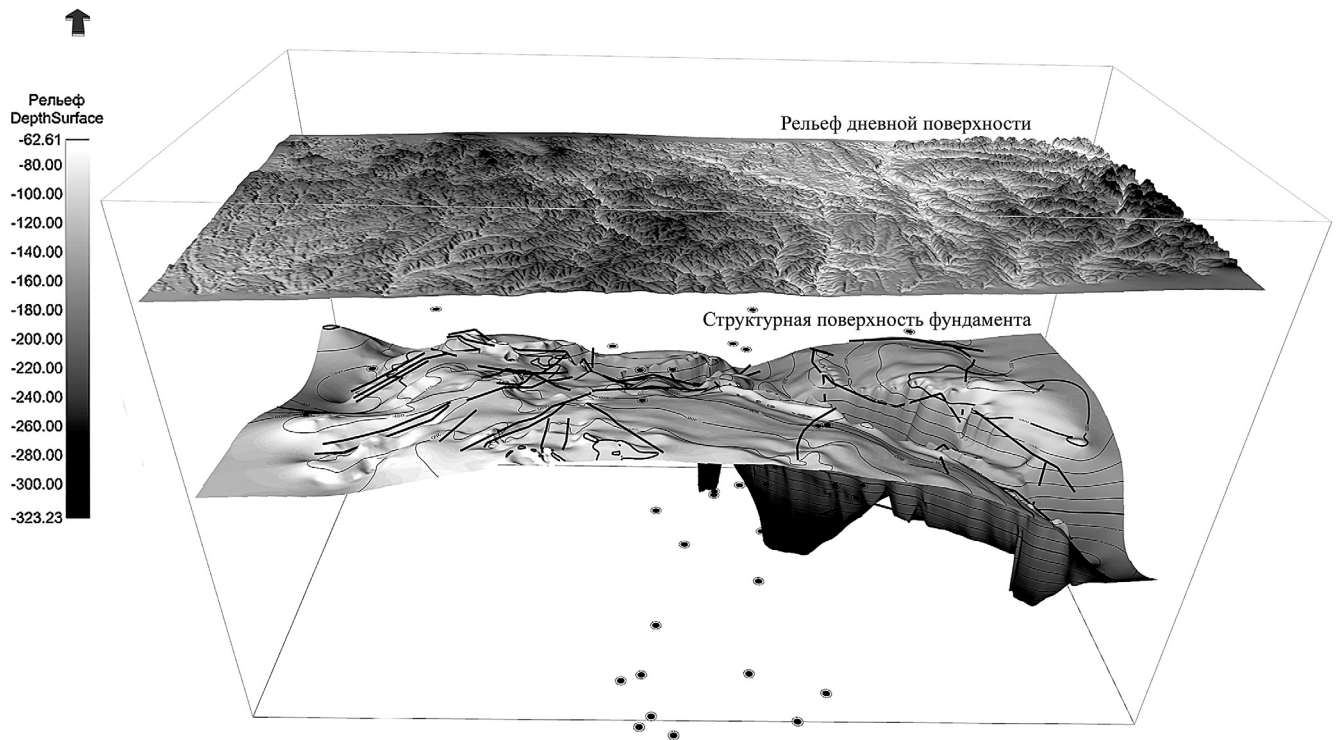


Рис. 3. Схема сопоставления рельефа земной поверхности со структурной поверхностью фундамента: 1 — гипоцентры низкомagnitudeных землетрясений

тактные взаимодействия, в том числе при больших величинах деформации с образованием складок, а также моделировать процесс образования трещин в результате деформирования при выполнении заданных критериев разрушения. При этом региональное поле напряжений рассматривается как граничное условие. В результате приложенной нагрузки происходит смещение по существующим разломам фундамента, что приводит к появлению локального поля напряжений. Основной целью такого (геомеханического) моделирования — выявление локального поля напряжений и оценка его влияния на появление новых разрывов, а, следовательно, сейсмичность. Кроме того, реконструкция напряженно-деформированного состояния пород фундамента (пространственное распределение осей эллипсоида напряжений и зон пригрузки и разгрузки) имеет первостепенное значение для выявления дизъюнктивных нарушений в чехле платформы. В рассматриваемой модели были рассчитаны следующие параметры: 1) величина и ориентировка горизонтального сжатия; 2) величина и ориентировка горизонтального растяжения; 3) вероятность появления новообразованных разрывных нарушений; 4) смещения вдоль разрывов фундамента, вызванные горизонтальным сжатием по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Оценивая напряженное состояние рассматриваемого региона в целом, следует отметить, что внешняя нагрузка, наиболее удовлетворяющая характеру распределения сейсмичности, соот-

ветствует северо-восточному сжатию. При такой нагрузке максимальные сжимающие напряжения чаще всего приурочены к бортам крупных авлакогенов (Пачелмский, Подмосковский) и в меньшей степени характерны для сводов поднятий. Расчеты появления новообразованных разрывных нарушений выполнены на основании математической модели Мора–Кулона, описывающей зависимость появления касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений.

В результате расчетов сделан ряд выводов, отражающих общий характер проявления сейсмичности. Во-первых, площадь появления зон возможных очагов маломagnitudeных землетрясений (ВОЗ) занимает центральную часть изучаемой территории и вытянута преимущественно в северо-западном направлении (азимут  $290\text{--}310^\circ$ ). Во-вторых, ориентировки возможных плоскостей сместителей прогнозируемых землетрясений укладываются в три системы  $290\text{--}310^\circ$ ,  $29\text{--}30^\circ$  и  $60\text{--}70^\circ$ . К наиболее деформированным участкам относятся южное обрамление Окско-Донского прогиба, западная часть Липецкого поднятия и западное обрамление Олымского поднятия (рис. 4).

**Заключение.** Использование комплекса современных методов и материалов позволило представить новейший структурный план большей части территории Восточно-Европейской платформы в масштабе 1:500 000. На изученных территориях установлен сводово-блоковый стиль дислокаций, представляющий собой комбинацию разноранго-

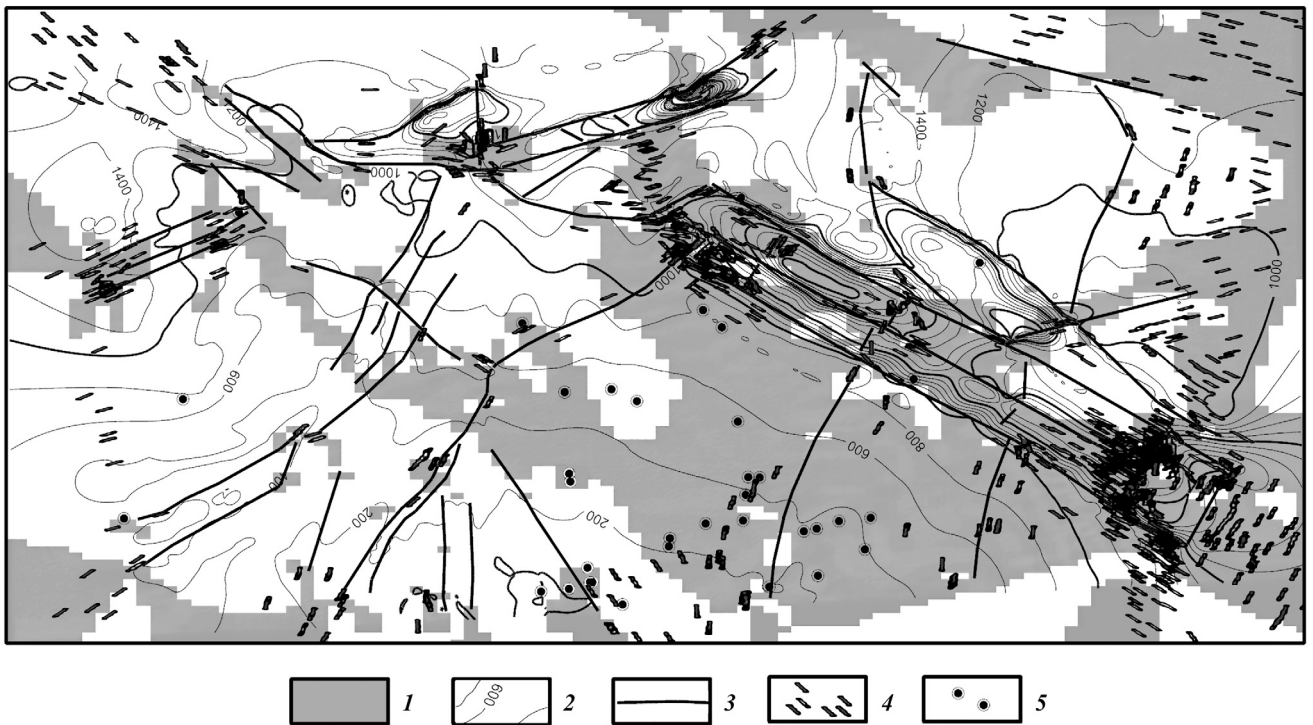


Рис. 4. Результаты компьютерного геодинамического моделирования: 1 — области возможных проявлений сейсмичности, 2 — изобазы структурной поверхности фундамента, 3 — разрывные нарушения фундамента, 4 — расчетные плоскости сместителей потенциальных разрывов, 5 — эпицентры землетрясений

вых поднятий и впадин, нарушенных линеаментами. Первые преобладают, что свидетельствует о вовлечении Восточно-Европейской платформы в процесс поднятия на новейшем этапе. Яркий пример — Окско-Донской прогиб, практически весь занятый поднятиями, наиболее выразителен из которых Окско-Цнинский вал. Другой пример — Прикаспийская впадина — структура наиболее прогнутая (до 22 км) по фундаменту, которая в современном рельефе осложнена многочисленными разноамплитудными (от нескольких метров до 250 м) и погребенными поднятиями.

Рост поднятий сопровождался образованием зон трещиноватости и разрывными дислокациями, которые чаще всего скрыты под чехлом четвертичных отложений и не всегда ярко выражены из-за малой амплитуды смещений, но проявляются в рельефе в виде линеаментов. Сопоставление выделенных линеаментов со структурными поверхностями фундамента и осадочного чехла позволило сделать вывод о связи глубинных дислокаций с новейшими. Новейшие структуры не всегда копируют древние дислокации, следуя вдоль них, они сохраняют их простирания или отражаются в рельефе фрагментарно в виде линеаментов. Особая роль принадлежит древним авлакогенам, которые контролируют простирание не только линеаментов, но и довольно часто ориентировку новейших пликативных структур, например, границы поднятий Среднерусской возвышенности — Чеховского, Калужского, Веневского, Зарайского, Плавского,

подчиненных простиранию Пачелмского авлакогена. Простирание поднятий на северо-востоке Московской синеклизы (Ярославского, Нерехтинского, Галичского) контролируется ветвями Среднерусского авлакогена. Клязьминское понижение и само субширотное Московско-Дмитровское поднятие сохраняют простирание Подмосковного авлакогена. Авлакогены на новейшем этапе испытывают активизацию, что подтверждается повышенными значениями эндогенного теплового потока в подобных структурах (Ладожский грабен, Галичский и Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген и др.). Новейшие дислокации часто коррелируют с гравитационными и магнитными аномалиями (Прикаспийская синеклиза, Волго-Уральская антеклиза и др.).

К выделенным линеаментам приурочены максимальные значения emanаций гелия и водорода, проявления сейсмичности. Эпицентры низкомagnitude землетрясений маркируют некоторые линеаменты и их пересечения (Воронежская антеклиза). Современная активизация новейших структур подтверждается инструментальными наблюдениями, проведенными в 2000–2012 гг. на станциях GPS Менделеево, Обнинск, Звенигород [Адушкин и др., 2014].

Соответствие выраженных в рельефе структур глубинным дислокациям, вплоть до фундамента может указывать на его существенную роль в формировании новейшего плана Восточно-Европейской платформы.

Рассчитанные с помощью 3D геодинамической модели относительные величины и ориентировки напряженного состояния фундамента, которые были увязаны с проявлением сейсмичности, позволили выявить участки, находящиеся в условиях близких к механическому разрушению, а следовательно, являющиеся сейсмоопасными. В результате моделирования также оконтурены участки проявления малоамплитудных дислокаций в чехле платформы, рассчитаны значения величины изгиба структурной поверхности фундамента и рельефа дневной поверхности. Компиляция этих параметров позволила выявить области возможных очагов землетрясений (ВОЗ). Отметим, что структура фундамента и рельеф дневной поверхности рассматриваемой территории имеют прямую корреляцию ( $K=0,26$ ), что свидетельствует о непосредственном геодинамическом воздействии фундамента на структуру чехла платформы.

Формирование новейших структур происходит под влиянием Уральского орогена и молодой Скифской плиты. На это указывают распределение

сейсмичности и одинаковые простирания дислокаций в областях сочленения Восточно-Европейской платформы. Влияние Уральского орогена выражается в субмеридиональном простирании новейших дислокаций платформы в районах, прилегающих к Предуральскому прогибу.

Скифская плита в свою очередь находится под влиянием Большого Кавказа [Panina, Zaitsev, 2016], а преобладающие субкавказское простирание ее новейших структур характерно и для южной части Восточно-Европейской платформы. Согласно оценке напряженного состояния западной части изучаемой территории с помощью компьютерного моделирования показано, что внешняя нагрузка, наиболее удовлетворяющая характеру распределения сейсмичности, соответствует северо-восточному сжатию.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты КОМФИ 18-00-00344 и 18-00-00247).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С. и др. Исследование неотектонической активности морфоструктур центральной части Восточно-Европейской платформы с использованием дистанционных методов // Физика Земли. 2014. № 2. С. 21–28.

Златопольский А.А. Пакет прикладных программ выделения и анализа линейных элементов аэрокосмических изображений // Автоматизированный линеаментный анализ при структурно-геологических и металлогенических исследованиях. М.: Недра, 1988. С. 14–28.

Макаров В.И. Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных территорий в связи с оценкой их тектонической активности // Недра Поволжья и Прикаспия. Вып. 13 (специальный). 1996. С. 53–60.

Манушлова Е.А. Структурно-геоморфологический анализ центральной части Московско-Дмитровского поднятия // Структурно-геоморфологические исследования для решения задач неотектоники и геодинамики. Материалы конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н.П. Костенко (1915–2005). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. С. 26–28.

Панина Л.В., Зайцев В.А. Новейшая тектоника восточной части Воронежской антеклизы // Геологическая среда, минерагенические и сеймотектонические процессы. Воронеж: Научная книга, 2012. С. 256–260.

Панина Л.В., Зайцев В.А. Новейшая тектоника Прикаспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2014. № 1. С. 17–23.

Панина Л.В., Зайцев В.А., Сенцов А.А., Агибалов А.О. Неотектоника центральной части Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91, вып. 4–5. С. 51–60.

Хисамов Р.С., Файзуллин И.Н., Шарадутдинов В.Ф. и др. Геологическое строение Абдрахмановской площади по данным дистанционных космических методов и полевой эманационной съемки // Нефтяное хозяйство. 2004. № 7. С. 40–43.

Panina L.V., Zaitsev V.A. Geodynamics of the Scythian Plate // Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time 11.1 («The Earth Planet System»), 2016. Web. <2227-9490e-aprov\_e-ast11-1.2016.11>. (In Russian). Т. 11, N 1. P. 2–16.

Поступила в редакцию 25.10.2018

Поступила с доработки 27.11.2018

Принята к публикации 11.12.2018