

Зоны современной активизации территории Украины

*В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко, Л. Я. Гордиенко, О. В. Завгородняя,
И. М. Логвинов, В. Н. Тарасов, 2020*

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 25 октября 2019 г.

Співробітники відділу тектоносфери Інституту геофізики НАН України вивчають зони сучасної активізації на території України вже протягом 25 років з використанням великого комплексу геолого-геофізичних даних. Інтерес до цих об'єктів зумовлений не тільки прагненням досліджувати механізми глибинних процесів, а й зв'язком із зонами родовищ різних корисних копалин. Залучено інформацію про пізньопліоцен-четвертинні рухи поверхні, нафтогазоносність, райони гідрохімічної інверсії, аномальновисоких пластових тисків, поширення молоді рудної мінералізації, аномальну ізотопію гелію підземних вод і газів, зони поширення знижених швидкостей поздовжніх сейсмічних хвиль у земній корі і верхніх горизонтах мантії, аномально тонку земну кору, аномалії теплового потоку, підвищену електропровідність порід кори і мантії, мантіїні гравітаційні аномалії. Виділено 12 зон у межах близько половини території України. Одна з них охоплює Карпатський регіон з альпійською складчастістю, інші розміщуються в структурах платформи різного віку — від докембрійського до посткімерійського. За наведений період досліджень ступінь геотермічної і геоелектричної вивченості території України багаторазово збільшився, істотно доповнені дані щодо ізотопії гелію, з'явилися інші геолого-геофізичні дані. Суттєво змінилася методика інтерпретації експериментальної інформації. Очевидні необхідність узагальнення нагромаджених відомостей та їх аналіз на підставі єдиного методичного підходу. Зроблено спробу вирішення одного з таких завдань — побудова сучасного варіанта меж зон сучасної активізації.

Ключові слова: зони сучасної активізації території України, комплекс геолого-геофізичних методів.

Введение. Явление одноактной активизации тектоносферы как самостоятельный тип эндогенного режима изучается сравнительно недолго. Ранее события, отличающие части платформ от «состояния тектоно-магматического покоя», воспринимались как некое «вовлечение» их в активность соседних альпийских геосинклиналей. Механизм такой трансляции активности не рассматривался. С точки зрения адвекционно-полиморфной гипотезы (АПГ) глубинных процессов в тектоносфере эта конструкция лишена смысла. Происходящие на платформах чаще довольно «скромные» активные со-

бытия при изучении их механизмов оказываются связанными с выносом энергии, сопоставимым с таковым в рифте [Gordienko, 2019]. Тепломассоперенос в подобные периоды оказывается аналогичен происходящему на первой фазе рифтогенеза и часто дополняет (после некоторого временного интервала) процессы в рифтах и геосинклиналях.

В работе [Gordienko, 2016] приведены данные по двум таким событиям — позднепермской и современной активизациям (СА) Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Они существенно различаются по стартовым тепловым моделям: в первом

случае запас энергии обеспечивает только один акт тепломассопереноса, во втором ее достаточно для продолжения некоторой активности (не исключено, что уже произошедшая представляет собой начало рифтогенеза). В случае позднепермской активизации тепломассоперенос (судя по составу изверженных пород) возможен в двух вариантах: вынос перегретого вещества под кору непосредственно из очага у подошвы верхней мантии и опосредованно, с созданием промежуточного очага на глубине около 200 км. Для подобной характеристики СА нет данных (магматизма). Таким образом, в рамках процессов одноактной активизации можно выделить включающие мантийный и коровый магматизм и амагматичные. Рассматриваемый эндогенный режим выглядит многовариантным и, возможно, при более детальном изучении будет разделен на самостоятельные (два или больше) варианты.

В зонах древних процессов одноактной активизации тепловые следы исчезают быстрее, чем в геосинклиналях и рифтах, т. е. можно рассматривать только сохранившиеся геологические объекты. В современных (начавшихся первые миллионы лет назад) глубинный тепломассоперенос еще не полностью отразился в событиях, доступных наблюдению, содержания предстоящих этапов тем более неизвестны. В этой ситуации целью исследования становится прежде всего установление самого факта активизации и выявление ее параметров.

Тепловые модели тектоносферы, рассчитанные по представлениям АПГ под современными платформами, представляют собой результат анализа глубинных процессов на протяжении всей геологической истории при минимальной теплогенерации в мантийных породах [Гордиенко, 2017 и др.]. Они включают в себя интервал частичного плавления пород у подошвы верхней мантии. В регионах с альпийскими активными режимами он находится на небольшой глубине — около 50—100 км. В обоих случаях возможна СА — вынос перегретого вещества под кору и затем в кору с

образованием в ее средней части вторичного слоя расплава. Его порции местами вторгаются в верхние слои до глубин в несколько километров. Появление интрузий вызывает вулканизм и/или гидротермы, при отсутствии экранов достигающих поверхности. С зонами современной активизации (ЗСА) связаны землетрясения, месторождения руд, углеводородов (УВ), серы, минеральных вод, земного тепла. Их обнаружение и картирование на территории Украины ведется в течение многих лет [Гордиенко и др., 1994, 2005, 2006, 2011, 2012, 2015, 2017; Гордиенко, 1999; Гордиенко, Гордиенко 2001; Варенцов и др., 2013 и др.] комплексом геолого-геофизических методов. Зоны занимают около половины территории Украины (рис. 1) [Гордиенко, Горденко, 2018 и др.]. Активизированы Карпатский регион и Скифская плита. В платформенной части Украины (включая Донбасс) ЗСА распространены примерно на 40 % территории. Естественно, в параметрах зон отражается уровень эксперимента и средств интерпретации того или иного периода последних 20—25 лет. В этой работе предпринята попытка систематизации результатов и применения единой методики выделения всех разновидностей ЗСА.

Используемые диагностические признаки (критерии) — это объекты на относительно небольших глубинах (примерно до 100 км) и эффекты источников такой же глубинности. Находящиеся ниже не рассматриваются [Гордиенко, 2017]. Их можно (скорее для удобства, чем по генетической принадлежности) разделить на локальные и региональные.

Локальные критерии.

1. Сейсмичность и разломы.
2. Аномалии изотопии гелия в подземных водах и газах с $R > 2$ ($R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He} \cdot 10^8$).
3. Нефтегазоносность и проявляющиеся в районах месторождений УВ аномалии высокого пластового давления, признаки гидрохимической инверсии, появление глубинных ксеночастиц в осадках, включающих месторождения.

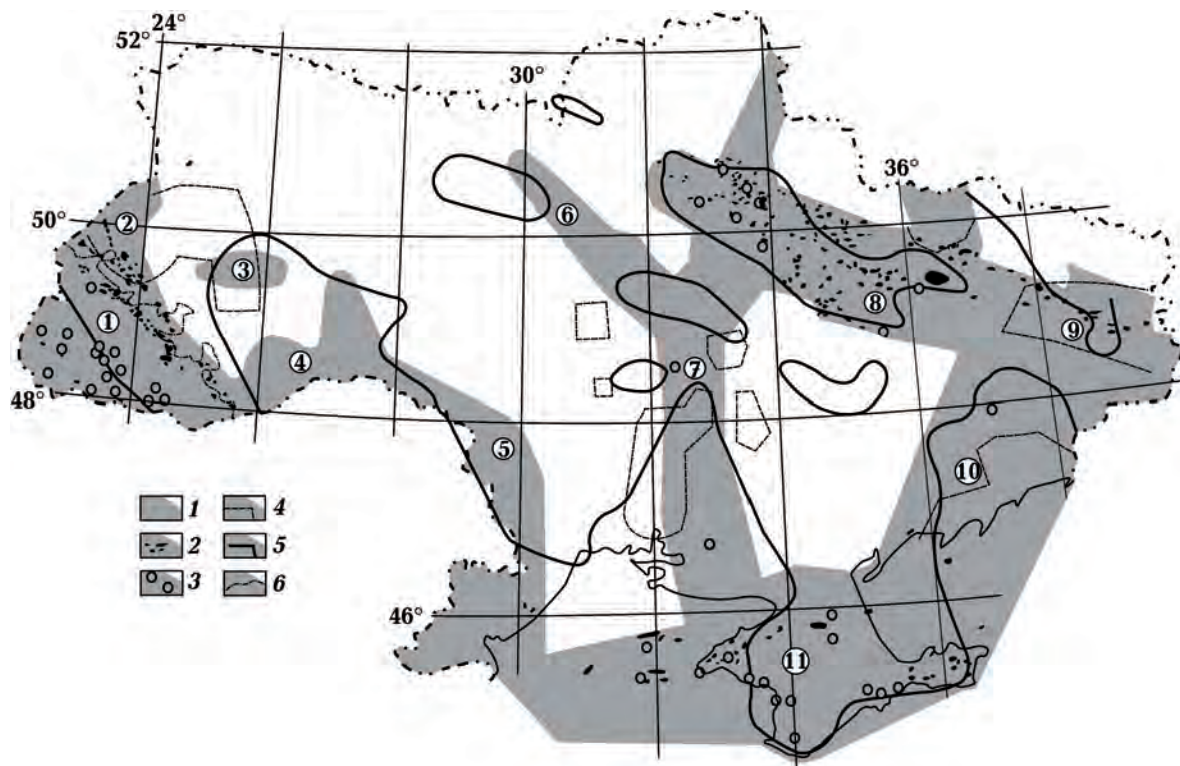


Рис. 1. Зоны современной активизации Украины по данным предыдущих исследований (1), месторождения углеводородов (2), пункты с аномальной изотопией гелия (3), районы с пониженными скоростями сейсмических волн в коре (4), районы с мощностью земной коры менее 40 км (5), граница области распространения проявлений молодой гидротермальной минерализации (6). Зоны: 1 — Карпатская, 2 — Яворовская, 3 — Тернопольская, 4 — Черновицкая, 5 — Бельцкая, 6 — Днепроовская, 7 — Кировоградская, 8 — Днепроовско-Донецкая, 9 — Донецкая, 10 — Приазовская, 11 — Крымская.

Fig. 1. Zones of recent activation in Ukraine according to previous studies (1), hydrocarbon deposits (2), points with anomalous helium isotopy (3), regions with reduced seismic wave velocities in the crust (4), regions with a crustal thickness of less than 40 km (5), the boundary of the area of distribution of manifestations of young hydrothermal mineralization (6). Zones: 1 — Karpatskaya, 2 — Yavorovskaya, 3 — Ternoposkayal, 4 — Chernovitskaya, 5 — Beltskaya, 6 — Dniprovsckaya, 7 — Kirovogradskaya, 8 — Dneprovsko—Donetskaya, 9 — Donetskaya, 10 — Priazovskaya, 11 — Crimskaya.

4. Молодые рудные месторождения и следы гидротермального (телетермального) рудогенеза.

5. Пониженные скорости распространения сейсмических волн (V_p) в верхних горизонтах мантии.

6. Пониженные скорости распространения сейсмических волн в коре и сокращение мощности земной коры.

Региональные критерии.

1. Поднятие поверхности минимум на 50 м за последние примерно 3 млн лет (от позднего плиоцена до настоящего времени [Верховцев, 2008]).

2. Аномалии теплового потока (ТП) — более 50 мВт/м².

3. Отрицательные гравитационные мантийные аномалии интенсивностью –20 мГл и более.

4. Аномалии электропроводности в коре и верхней мантии, прямо или косвенно связанные с перегревом.

Рассмотрим их с целью сформировать современное представление о значении каждого в определении расположения ЗСА Украины.

Локальные критерии 2—6. Остановимся вначале кратко на критериях, которые

по тем или иным причинам явно не могут использоваться на всей изучаемой территории. Их распространение отражает рис. 1.

Наиболее очевидна локальность молодого оруденения. Оно связано только с постгеосинклинальной активизацией и в настоящее время представлено в Карпатском регионе [Gordienko, 2019 и др.]. Проявления рудогенеза не выходят за пределы соответствующей зоны активизации и могут быть использованы вместе с другими данными для ее оконтуривания, но в других районах их нет.

Нефтегазоносность распространена шире. Все месторождения углеводородов оказываются в ЗСА. Исключение — незначительное Локачинское месторождение в северной части Вольно-Подольской плиты (ВПП). По данным работ [Верховцев, 2008; Гордиенко и др., 2011] и здесь проявляется локальная ЗСА. На всех месторождениях при достаточной глубине скважин обнаруживаются зоны гидрохимической инверсии, часто отмечаются и аномалии высокого пластового давления. Формирование месторождений явно связано с активизацией, установленный возраст некоторых залежей менее 1 млн лет. Однако картировать ЗСА на всем их протяжении эти критерии не могут.

Примерно то же можно сказать и об изотопии гелия: аномалии (повышенное содержание гелия-3) указывают не только на факт активного процесса, но и фиксируют наличие в нем мантийного этажа. Аномалии присутствуют в большинстве ЗСА, но по ним нельзя выявить границы зон.

Еще чаще встречаются районы, в земной коре которых установлены слои с пониженными сейсмическими скоростями и глубина раздела М сокращена по сравнению с типичной для платформенных территорий Украины (около 42 км). Последний критерий ненадежен: согласно АПГ утонение коры не кажется обязательной составной частью процесса (во всяком случае на начальной стадии). Хотя совпадение с районами активизации, установленными по другим признакам, просматривается

(см. рис. 1). Однако подъем Мохо мог сформироваться и на других этапах геологической истории, например при рифтогенезе в Днепроовско-Донецкой впадине. Понижения V_p также не обязательно связаны с современным перегревом. Кроме того, аномальные значения температуры коры геосинклинали Карпат обусловлены не только СА. На Скифской плите перегрев отчасти может быть связан с влиянием процессов в мантии Черного моря. Таким образом, в качестве вспомогательных эти критерии полезны, но не могут использоваться как самостоятельные. Количественная оценка совпадений выделяемых этими критериями ЗСА с установленными по другим (преимущественно региональным) показала, что примерно 40 % выделенных участков оказываются вне зон. При выявлении рассматриваемых ниже контуров ЗСА районы пониженных скоростей в коре и сокращенной мощности коры (ЛК5) не учитывались.

Более серьезного внимания заслуживают районы со скоростными аномалиями в верхней части мантии. Под корой могут встречаться отрицательные аномалии тепловой природы и положительные, связанные с опусканием в мантию эклогитизированных блоков коры. Границе области пониженных скоростей на глубине около 50 км при обычных (перидотитовом) составе и температуре на границе ЗСА соответствует значение V_p около 8,05 км/с [Гордиенко, Гордиенко, 2018]. Аномалии состава на изучаемой территории распространены мало. Тем не менее непосредственно под разделом Мохо по данным ГСЗ нередко встречаются значения 8,3—8,5 км/с. Они не могут быть согласованы (особенно при повышенных температурах под ЗСА) с перидотитами и не использовались для определения истинной границы. Отрицательные аномалии представлены значениями V_p в диапазоне 7,6—8,0 км/с. Часть таких величин можно увидеть на профилях ГСЗ непосредственно под разделом Мохо, но более обширная и достоверная информация получена при специальных исследованиях распреде-

ления скоростей в мантии [Харитонов и др., 1993, 1995; Weber, 2002; Гобаренко и др., 2009; Яновская и др., 2016; Гордиенко, Гордиенко, 2018]. При рассмотрении данных ГСЗ было признано, что фиксируемые скорости 7,7 км/с и выше не могут быть связаны с коровыми породами (включая образования коро-мантийной смеси) в реальных условиях ЗСА. Подтверждением этому служит широкое распространение указанных скоростей под корой Карпат и Скифской плиты. На рис. 2 видно довольно полное внешнее оконтуривание по этому признаку ЗСА Карпатского региона (с прилегающей частью ВПП) и части Скифской

плиты. Данные по ДДВ, Донбассу, склону Воронежского массива и восточному склону Украинского щита менее пригодны для выделения определенных территорий. На севере щита обнаруживается небольшой блок пониженных скоростей вне изученных зон ЗСА.

Разломы и землетрясения. Движение вещества верхней мантии происходит в виде квантов тектонического действия (КТД) — минимальных объемов, способных к перемещению в условиях реального распределения динамической вязкости, плотности и температуры. Их средний линейный размер около 60 ± 10 км. В

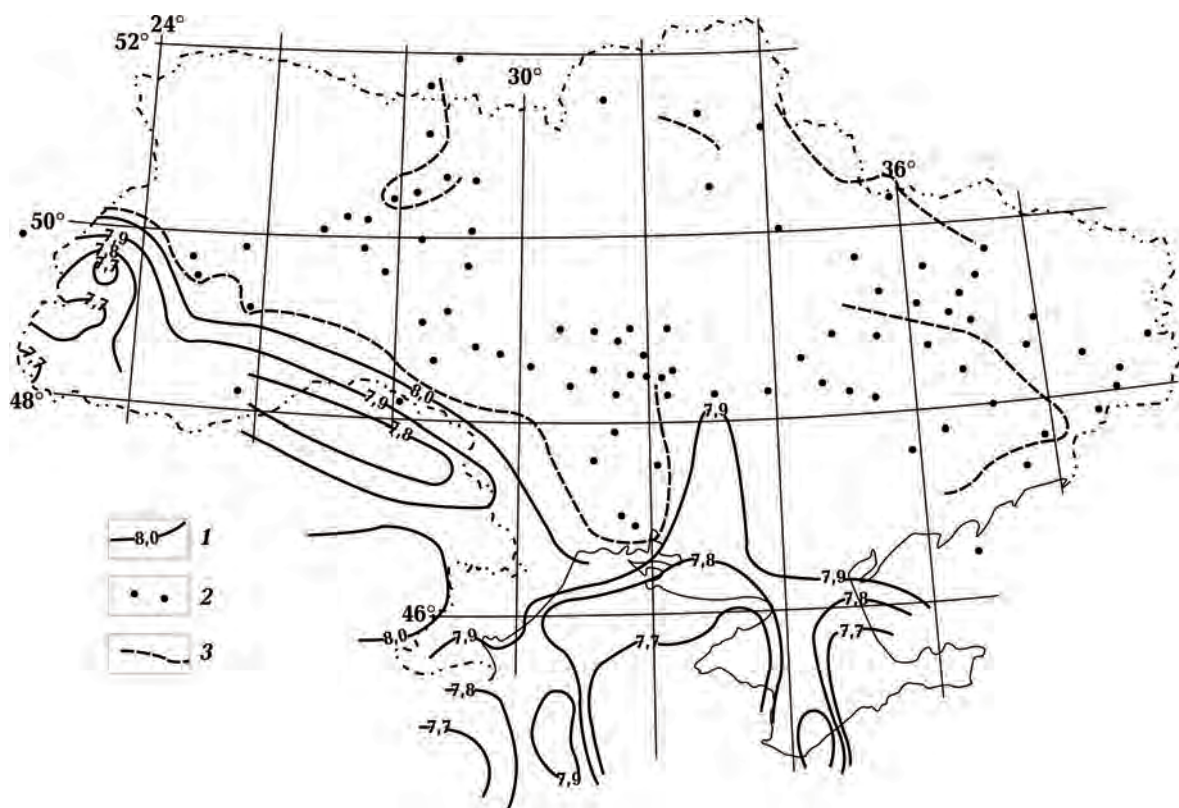


Рис. 2. Границы области пониженных скоростей в верхних горизонтах мантии Украины: 1 — сглаженные изолинии распределения V_p под разделом М [Харитонов и др., 1993, 1995; Weber, 2002; Гобаренко и др., 2009; Яновская и др., 2016; Гордиенко и др., 2018 и др.], 2 — пункты определения скорости сейсмических волн под Мохо по данным ГСЗ [Литосфера ..., 1986; Гордиенко и др., 2005, 2006, 2011, 2012, 2015, 2017 и др.], 3 — изолиния $V_p = 8,05$ км/с.

Fig. 2. The boundaries of the region of low velocities in the upper horizons of the mantle of Ukraine: 1 — smoothed contours of the V_p distribution under boundary M [Kharitonov et al., 1993, 1995; Weber, 2002; Gobarenko et al., 2009; Yanovskaya et al., 2016; Gordienko et al., 2018 etc.], 2 — points of determining the velocity of seismic waves near Moho according to the data from the DSS [Lithosphere ..., 1986; Gordienko et al., 2005, 2006, 2011, 2012, 2015, 2017 etc.], 3 — isoline $V_p = 8,05$ km/s.

ЗСА часто проявляется именно средняя величина. Группы КТД, поднимаясь практически синхронно, могут заполнять подкоровое пространство под большими по площади регионами [Гордиенко, 2017]. По имеющимся данным между ними могут сохраняться границы в виде фрагментов вещества с менее аномальными свойствами, чем в центрах КТД. Эти утверждения можно продемонстрировать на примерах расположения активизированных разломов Украины (рис. 3).

Для представленных на рисунке объектов термин «линеаменты» больше подходит (речь идет не о самих разломах, а об их поверхностных проявлениях), но его использование приведет к разночтениям с другими частями работы. Подходят для иллюстрации и некоторые скоростные модели подкоровой мантии (на геотран-

секте Вранча—Южно-Украинская АЭС, см. ниже).

Очевидно, что нарушения перекрывают всю изученную территорию, а не только ЗСА. Плотность сети позволяет подобрать нарушения, обрамляющие все выделенные зоны. Вероятно, они — следствие «оживления» долгоживущих систем, в каждом элементе которых происходят некоторые смещения на значительном протяжении, в том числе за пределами глубинных источников энергии. Подобная плотность линеаментов наблюдается и на территории России [Макаров, 2008 и др.]. Сеть имеет достаточно определенный размер ячеек. Он лучше просматривается при исключении ширины линеаментов (рис. 4).

В нашем случае чаще всего видны проявления одиночных и спаренных КТД спрогнозированных выше размеров. Это

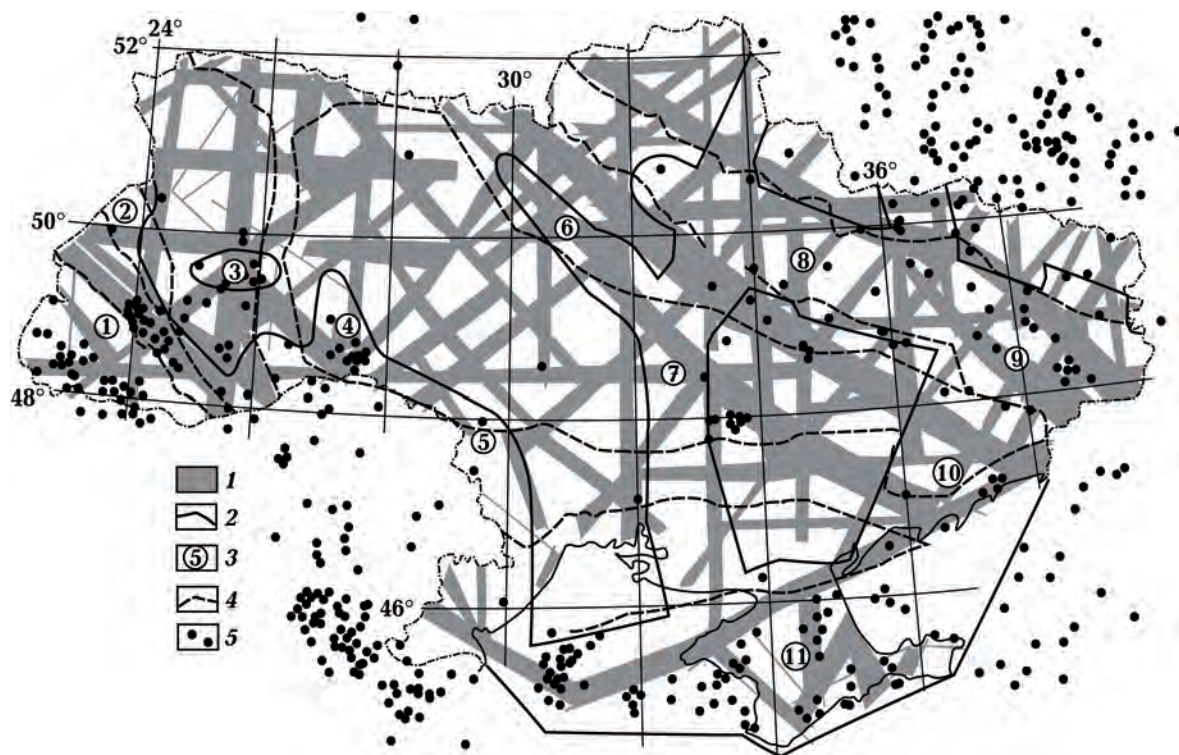


Рис. 3. Активизированные разломы (линеаменты) Украины [Верховцев, 2006, 2008] (1), контуры зон современной активизации по данным предшествующих исследований (2), номера зон (3) см. на рис. 1, границы тектонических единиц (4), эпицентры землетрясений (5).

Fig. 3. Activated faults (lineaments) in Ukraine [Verkhovtsev, 2006, 2008] (1), contours of zones of recent activation according to previous studies (2), zone numbers (3) see in Fig. 1, boundaries of tectonic units (4) and earthquakes epicenters (5).

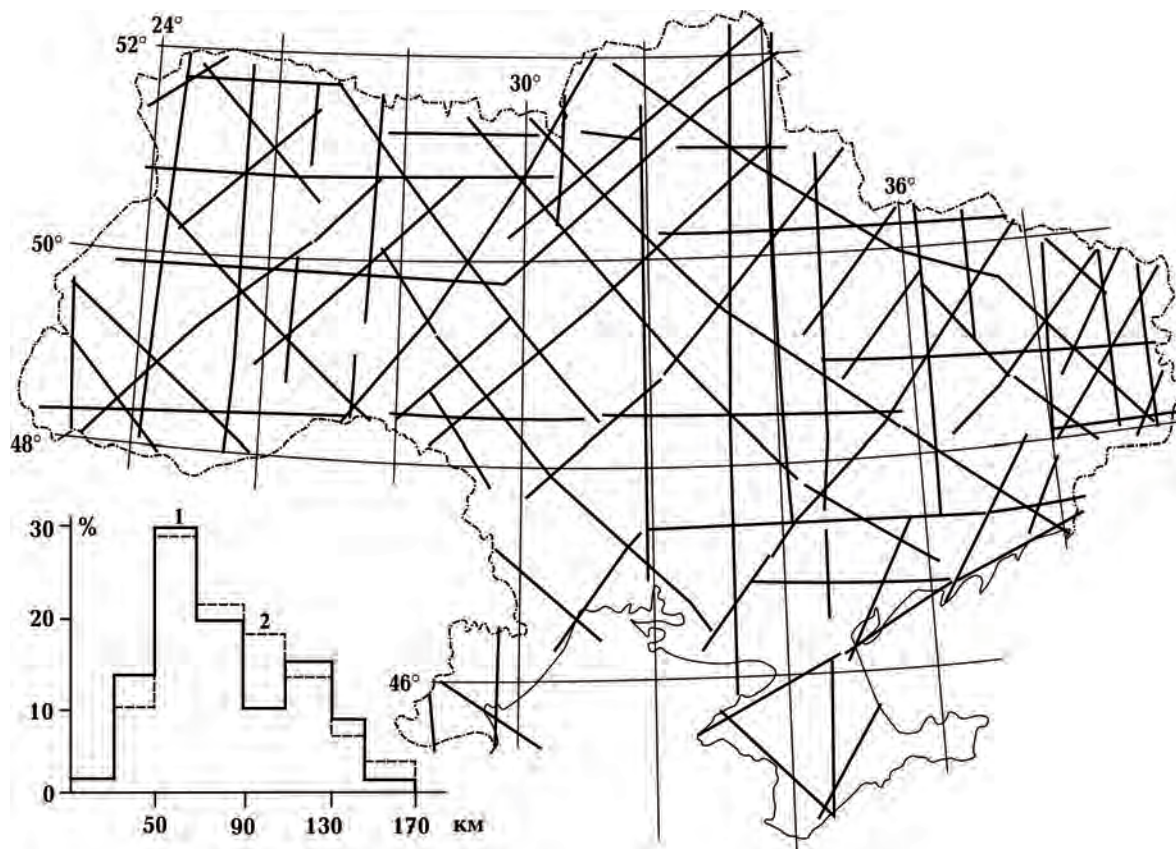


Рис. 4. Сеть молодых активизированных разломов Украины без демонстрации ширины зон. Простираения элементов сети: 1 — северо-запад—юго-восток и юго-запад—северо-восток, 2 — север—юг и восток—запад. На врезке: гистограммы распределений размеров ячеек двух наблюдаемых вариантов сети разломов.

Fig. 4. A network of young activated faults in Ukraine without demonstrating the width of the zones. Stretches of network elements: 1 — northwest—southeast and southwest—northeast, 2 — north—south and east—west. The inset shows histograms of the cell size distributions of two observed fault network variants.

— довольно типичная ситуация [Гордиенко, 2017 и др.].

Наличие землетрясений однозначно указывает на активизацию, для ее подтверждения представляются излишними другие критерии. Складывается впечатление, что землетрясения (в отличие от какой-то заметной исследователям активности разломов) далеко не выходят за пределы зон активизации (см. рис. 3). Но только в некоторых частях Украины можно надеяться на картирование ЗСА по этому критерию (Карпатский регион и Скифская плита). Примерно то же можно сказать о Тернопольской и Черновицкой ЗСА и о пространстве между ними. В пределах

Яворовской и Бельцкой зон плотность эпицентров меньше, по ним едва ли можно обрисовать контуры объекта.

Прослеживается связь между эпицентрами и расположением объектов с пониженным удельным сопротивлением [Ковачикова и др., 2016 и др.] в коре Карпат (рис. 5).

Кроме общей концентрации эпицентров в ЗСА намечается некоторое их перераспределение. Землетрясения в меньшем количестве происходят на территориях и глубинах, где расположены максимально электропроводные объекты. Но нельзя сказать, что такая тенденция бесспорна. На рис. 5 заметны районы с достаточно

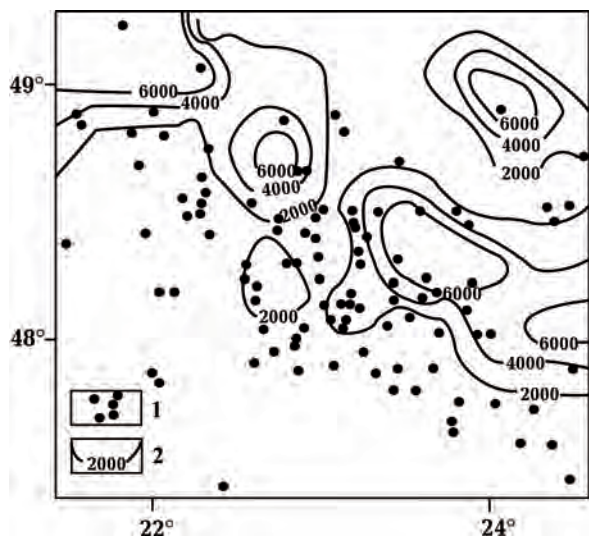


Рис. 5. Эпицентры землетрясения (1) и зоны с суммарной продольной электропроводностью в См (2) в Карпатах [Ковачикова и др., 2016].

Fig. 5. Earthquakes epicenters (1) and zones with total longitudinal electrical conductivity in Cm (2) in the Carpathians [Kovachikova et al., 2016].

большим количеством землетрясений и их отсутствием вне существенных проводников. Авторы работы [Мороз и др., 2016] указывают на другие варианты связи аномальной проводимости и сейсмичности и возможность изменения обоих параметров во времени.

К сожалению, изученность платформенной части Украины недостаточна для анализа связи сейсмичности с ЗСА. Значительное количество эпицентров, показанных в ее пределах (см. рис. 3), получено по данным сейсмостанций Российской Федерации. Возможно, не все установленные ими события попали в известные авторам публикации. Несмотря на такие обстоятельства, все же можно видеть, что почти все землетрясения происходят в ЗСА или на расстоянии от них, не превышающем ошибки определения границ. Неизвестна сейсмичность только Днепровской зоны. Значительное количество эпицентров сконцентрировано именно вблизи краев ЗСА. Эта тенденция еще недостаточно изучена, но выглядит логичной. Землетрясения тяготеют к краевым разломам.

Землетрясения в самых верхних горизонтах мантии происходят только на южной границе Крыма. Другими словами, предусмотренного АПГ перемещения эклогитизированных коровых блоков в мантии сейчас нет (или их немного — практически только во Вранче и Карцаге). Наши знания о протяженности периода СА и скорости реакции эклогитизации еще недостаточно для оценки этого факта. Можно лишь отметить, что он не противоречит практическому отсутствию положительных скоростных аномалий в мантии на глубинах до 100 км [Гордиенко, Гордиенко, 2018]. В какой-то мере считать более явными следами нахождения высокоскоростных блоков в мантии можно данные за пределами Украины — в Карцаге и Припятской впадине [Сейсмологические ..., 1985; Соллогуб, 1986]. Не исключено, что в опосредованном виде повышение V_p за счет таких блоков проявляется в отличии экспериментального скоростного распределения в мантии ЗСА платформенной Украины от рассчитанного (рис. 6). Собственно, на глубинах до 100 км полученные нами экспериментальные разрезы под ЗСА платформы заметно не

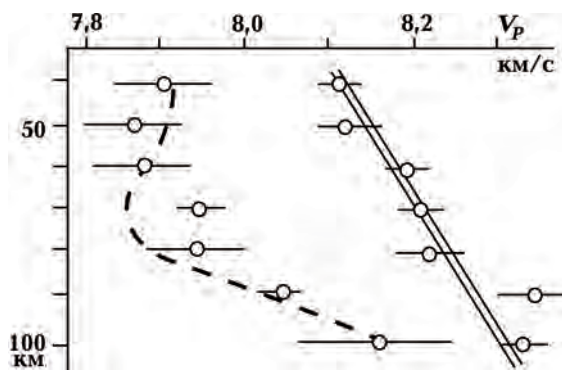


Рис. 6. Сравнение рассчитанных (линии) и экспериментальных (кружки с барами) данных о распределении скорости в мантии Украины под активизированными и неактивизированными районами платформы [Гордиенко и др., 2018].

Fig. 6. Comparison of calculated (lines) and experimental (circles with bars) data on the distribution of velocity in the mantle of Ukraine under the activated and unactivated areas of the platform [Gordienko et al., 2018].

отличаются от карпатских. Землетрясения на соответствующей глубине (50—200 км) наблюдаются только в Карцаге.

Через разломы в основном осуществляется дегазация (вынос флюидов) в районах активизации. Это ведет к своеобразным вариациям изучаемых физических полей. Непосредственная демонстрация тепловой активности в достаточно молодых зонах, где прогрев глубинными источниками еще не достиг поверхности, приурочена к локальным разломам (рис. 7). С ними же связаны аномалии изотопии гелия, месторождения УВ и гидротермальных руд. Возраст последних часто далек от современного, но флюиды циркулируют по тем же разломным зонам (Донбасс, Украинский щит), что и в давние периоды активности. Аномалии над несколькими близкими разломами могут объединяться, создавая возмущения шириной до 10 км (Никитовское рудное поле в Донбассе и др.).

Тепловая модель верхней части коры вблизи проницаемого разлома резко отличается от характерной для ЗСА в целом в сторону высоких значений температуры. По данным палеогеотермометрии на глубине около 7 км достигается солидус пород амфиболитовой фации. Это полностью соответствует оценкам результатов внутрикоревой адвекции по АПГ [Гордиенко, 2017], т. е. такие нарушения находятся над вторжениями кислой или средней магмы в верхние горизонты коры. Проницаемость расположенных над интрузией разломов резко (на три порядка) повышена под влиянием местной сейсмичности. Только при таких условиях возможен тепломассоперенос, обеспечивающий формирование нефтегазовых, рудных и других месторождений [Gordienko, 2016 и др.].

Соответственно месторождения тяготеют к зонам разломов и коррелируют с аномалиями физических полей. Это

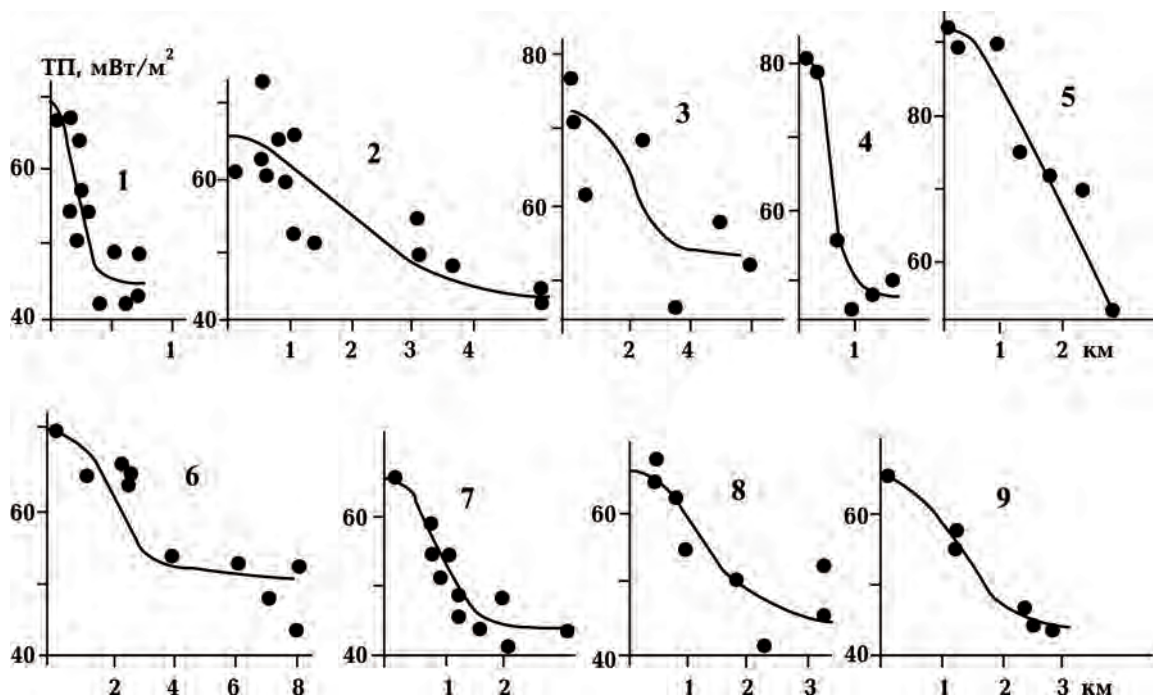


Рис. 7. Локальные аномалии теплового потока в разных ЗСА Украины: а, б — УЩ; в — ВПП; г, д — Донбасс; е — Скифская плита; ж—и — ДДВ.

Fig. 7. Local anomalies of the heat flow in different ZRA of Ukraine: а, б — USh, в — VPP, г, д — Donbass, е — Scythian plate, ж—и — DDB.

удобно показать на примере залежей углеводородов ДДВ. В Карпатском регионе и на Скифской плите результаты сопоставления принципиально те же, но менее наглядны. Для характеристики изменчивости нефтегазоносности территория впадины и ее бортов была разбита на поперечные участки шириной 25 км и продольные с несколько изменяющейся (в соответствии с расширением ДДВ к юго-востоку) шириной (в среднем ширина продольной полосы составляла 12,5 км). Для каждого участка и полосы вычислены суммарные запасы (в тоннах условного топлива) месторождений, отнесенные к единице площади (F), и построены кривые их изменения вдоль и поперек ДДВ. Значения F приписаны центрам соответствующих участков и полос (рис. 8). Очевидна очень сильная изменчивость параметра F . Максимумы на поперечном профиле приурочены к краевым разломам рифейского грабена, на продольном находятся примерно у Западно-Ингулецкого, Криворожско-Кременчугского, Орехово-Павлоградского, Западно-Приазовского и Центрально-Приазовского глубинных разломов. Расположение у краевых разломов рифейского грабена крупнейших месторождений УВ ДДВ создает максимумы F , на склонах которых теряется эффект приуроченности некоторых месторождений в юго-восточной части Днепровского бассейна к краевым разломам ДДВ и переходной зоне от ДДВ к Донбассу. Своеобразие перемещений по этим фрагментам разломов отмечено еще на герцинском этапе развития впадины [Гордиенко и др., 2006].

Необходимо отметить одну особенность рассмотренных возмущений гравитационного поля. «Мантийная» аномалия на профилях I и II кроме эффекта подкорового перегретого объекта ЗСА включает и влияние разуплотненного вещества проникаемых разломов. Именно связанные с ними аномалии создают вариации поля на фоне общего его понижения в ЗСА. На профиле III удалось исключить все эффекты, кроме обусловленных разломами.

Установленное соответствие изменений

F и геофизических параметров свидетельствует о правильности выбранной (по представлениям АПГ) схемы глубинного процесса. Это придает достоверность и другим прогнозируемым гипотезой элементам процедуры формирования месторождений УВ. В частности, глубина горизонта вероятной реакции углерода с водородом (углеродсодержащий слой рифея), фиксируемая по геоэлектрическим данным, не противоречит геологической информации о его месте в разрезе. Поэтому трудно допустить, что поступающий с больших глубин водород (независимо от происхождения) в большом количестве достигнет приповерхностных глубин. Более перспективными для его обнаружения представляются участки ЗСА без нефтегазоносности или со слабыми ее проявлениями [Gordienko, 2019]. На такую роль подходят многие фрагменты представленной выше системы зон Украины. Больше других, возможно, Закарпатье.

Тепловые модели ЗСА Украины и региональные диагностические критерии. Описанный выше глубинный процесс приводит к формированию интенсивных положительных аномалий температуры в подкоровой мантии, а затем в коре. По их величинам можно установить интенсивность возникающих эффектов, которые могут быть обнаружены.

Для достаточно «продвинутой» ЗСА (в которой коровый этаж существует не менее 1 млн лет) расчетные распределения температуры показаны на рис. 9. Вариации под платформой соответствуют известным различиям в теплогенерации коровых пород (и фонового ТП). В ЗСА под платформой и геосинклиналью — различиям температур в центральной и краевой частях нагретых блоков.

Расчетные температуры удовлетворительно согласуются с экспериментальными (в пределах признанных погрешностей геотермометров).

Над перегретым КТД логично ожидать поднятия поверхности. Но количественные оценки обнаруживают значительную неопределенность в амплитуде и даже

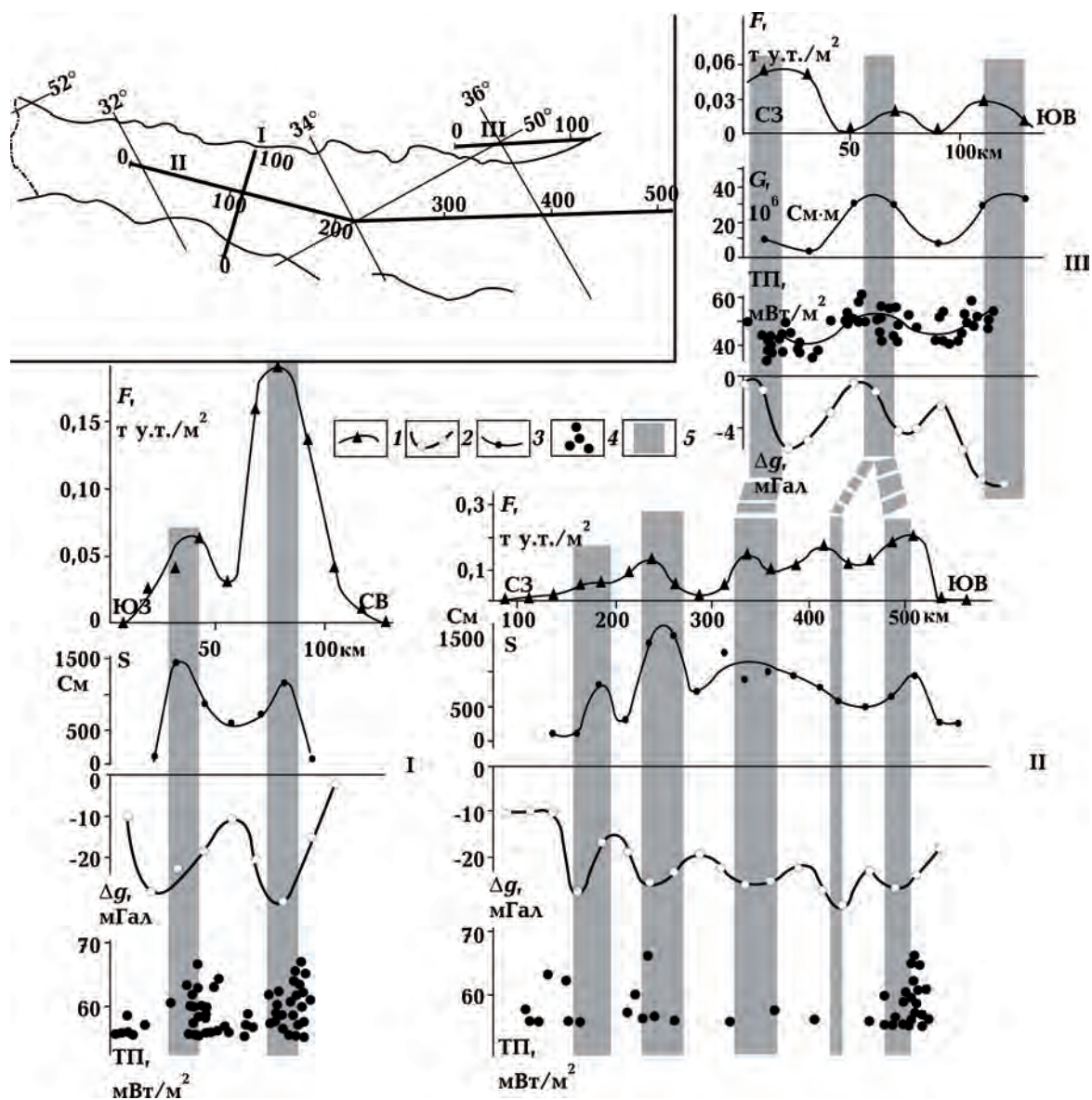


Рис. 8. Вариации вдоль профилей I—III нефтегазоносности, аномалий силы тяжести, суммарной продольной проводимости (S) корового проводника, теплового потока: 1 — изменения F , 2 — вариации мантийной аномалии Δg (профили I и II) и Δg над зонами разломов (профиль III), 3 — вариации величины S корового проводника, 4 — тепловой поток (вдоль профилей I и II показаны только ТП более 55 мВт/м^2), 5 — краевые разломы рифейского грабена (профиль I) и глубинные разломы на профиле II с северо-запада на юго-восток: Западно-Ингулецкий, Криворожско-Кременчугский, Орехово-Павлоградский, Западно-Приазовский и Центрально-Приазовский. На врезке: расположение профилей.

Fig. 8. Variations of oil and gas potential, gravity anomalies, total longitudinal conductivity (S) of the crustal conductor, heat flow along profiles I—III: 1 — changes F , 2 — variations of the mantle anomaly Δg (profiles I and II) and Δg over fault zones (profile III), 3 — variations of the S value of the crustal conductor, 4 — heat flow (along the profiles I and II only HF above 55 mW/m^2 are shown), 5 — marginal faults of the Riphean graben (profile I) and deep faults on profile II from the northwest to the southeast: West-Inguletsky, Krivorozhsky-Kremenchugsky, Orekhovo-Pavlogradsky, West-Prizovsky and Central-Prizovsky. The inset shows the location of the profiles.

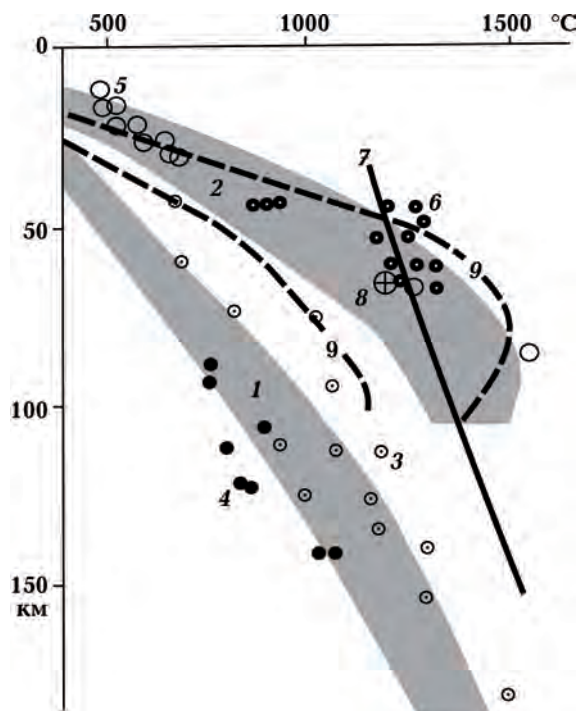


Рис. 9. Тепловые модели платформенных и активных регионов Украины: 1–6 — температуры (1, 3, 4 — в тектоносфере платформы (1 — расчетные по АПГ, 3 — Украинский щит, 4 — Припятский вал)); 2, 5, 6 — в активизированной альпийской геосинклинали (2 — расчетные по АПГ, 5 — Карпаты, 6 — Апеннины), 7 — солидус пород мантии, 8 — *PT*-условия в ЗСА юга Волыно-Подольской плиты (Бакэу), 9 — расчетные по АПГ температуры в ЗСА на платформе.

Fig. 9. Thermal models of platform and active regions of Ukraine: 1–6 — temperatures (1, 3, 4 — in the tectonosphere of the platform (1 — calculated APH, 3 — Ukrainian Shield, 4 — Pripyat Shaft)); 2, 5, 6 — in activated alpine geosyncline (2 — calculated according to APH, 5 — Carpathians, 6 — Apennines), 7 — solidus of mantle rocks, 8 — *PT*-conditions in the ZRA of the south of the Volyn-Podolsk plate (Bacau), 9 — temperature calculated according to APH in the ZRA on the platform.

направлении смещения поверхности. Например, довольно широко распространена нефтегазоносность, явно связанная с активизацией, в районах современных опусканий поверхности (Прикаспий, Сибирь и др.) [Национальный ..., 2004 и др.]. Различия в результатах вычислений связаны с учетом влияния не только подкорового объекта, но и охлажденного нижнего эта-

жа адвекции, а также интенсивности эклогитизации, завершившейся к настоящему времени (и наличия в коре пригодного для нее материала). Существенно сказывается на результате и изменение коэффициента теплового расширения с глубиной. Подъем за счет перегрева верхнего этажа определяется более достоверно и в нашем случае составляет на активизированной платформе 1600 ± 50 м, опускание за счет охлаждения — 1400 ± 100 м. Предположив, что небольшая положительная аномалия скорости (по сравнению с расчетной величиной) на рис. 6 связана с появлением эклогитизированных блоков в мантии, оценим дополнительное опускание поверхности примерно в 70 м. Расчет проведен для одномерной модели. На самом деле эффект не ограничен ЗСА на платформе, а «размазан» (см. ниже) по территории в 2,5 раза большей, т. е. средняя величина поднятия порядка 50 м. Она неплохо согласуется с реальной, но указанные неопределенности расчета свидетельствуют о практической недостижимости количественной оценки. В лучшем случае критерий оказывается качественным, попытка дать ему какую-то численную характеристику описана ниже.

Для мантийной гравитационной аномалии результат более определенный. Эффект нижнего этажа не создает заметного возмущения над ЗСА по сравнению с соседними районами, перегретый подкоровый объект формирует отрицательную аномалию несколько больше 20 мГл. Этот уровень (20 мГл) фиксируется над границей разуплотненного объекта реальной для Украины ширины. Ошибка расчета даже вдоль профиля ГСЗ высокого качества сопровождается погрешностью около 10 мГл.

Тепловой поток, как уже отмечено, может не проявляться на значительной территории или проявляться слабо при недостаточном возрасте корового этапа процесса.

Более достоверны геоэлектрические аномалии, но их природа не обязательно тепловая.

Несмотря на указанные сложности, во многих районах удастся обнаружить до-

статочное полное соответствие схемы глубинного процесса (выраженной в тепловой модели) и наблюдаемых критериев.

В районе Бельцкой ЗСА (рис. 10) аномалии ТП указывают на достигнутый прогрев верхней коры. Они объясняются построенной тепловой моделью, отражающей подъем единичного КТД. Диагностирована и аномалия электропроводности, которая вполне может быть связана с небольшой степенью частичного плавления мантийных пород. Для аномалии необходимы перегрев до солидуса и 2—3 % расплава и/или меньшее количество флюидов. От-

четливо видна мантийная гравитационная аномалия прогнозной интенсивности.

Мощность коры заметно сокращена или увеличена по сравнению со средней на платформе независимо от того, расположена ли соответствующая часть профиля в ЗСА или вне нее. Такая же картина прослеживается под геотрансектом Бухарест—Чернобыль.

Особенно удачно выглядит интерпретация скоростной аномалии. В отличие от модели процесса, при построении которой выделить отдельные КТД можно только предположительно, скоростной разрез

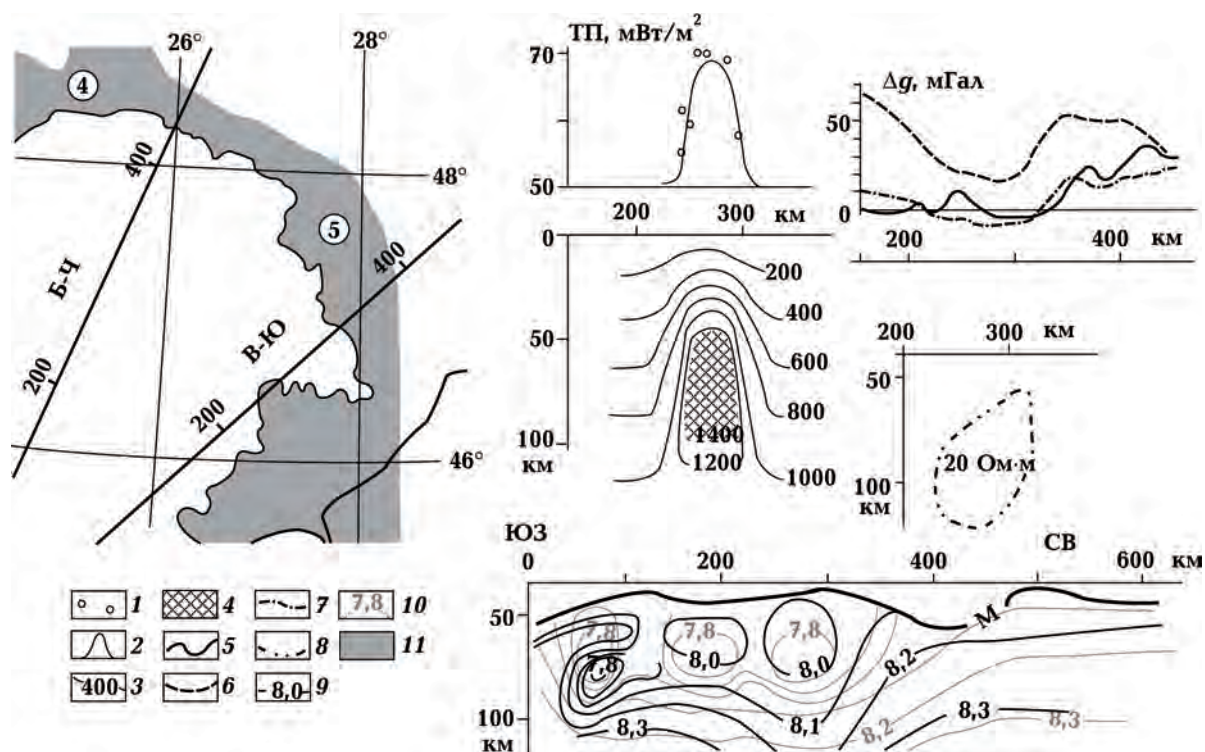


Рис. 10. Геофизические данные по Бельцкой ЗСА: 1, 2 — тепловой поток (1 — экспериментальный, 2 — расчетный), 3 — изотермы, 4 — зона частичного плавления мантии; 5—7 — гравитационное поле (5 — наблюдаемое, 6, 7 — расчетное при нормальной плотности пород мантии (6), с учетом аномальной плотности пород мантии (7)); 8 — границы объекта высокой электропроводности в верхней мантии; 9, 10 — распределение скоростей продольных сейсмических волн в верхних горизонтах мантии под профилем Вранча—Южно-Украинская АЭС (В-Ю) (9 — экспериментальное [Харитонов и др., 1993], 10 — расчетное по АПГ), 11 — ЗСА. Б-Ч — геотрансект Бухарест-Чернобыль.

Fig. 10. Geophysical data for Beltsy ZRA: 1, 2 — heat flow (1 — experimental, 2 — calculated), 3 — isotherms, 4 — zone of partial melting of the mantle; 5—7 — gravitational field (5 — observed, 6, 7 — calculated (6 — at normal density of mantle rocks, 7 — taking into account the anomalous density of mantle rocks); 8 — boundaries of the object of high electrical conductivity in the upper mantle; 9, 10 — velocity distribution of longitudinal seismic waves in the upper mantle horizons under the Vrancea—South Ukrainian NPP (В-Ю) profile (9 — experimental [Kharitonov et al., 1993], 10 — calculated according to APH), 11 — ZRA. B-Ch — Bucharest-Chernobyl geotranssect.

верхов мантии вдоль геотрансекта Вранча—Южно-Украинская АЭС выявляет три отдельных образования. Распределение скорости в их пределах, построенное по тепловым моделям для трех КТД, хорошо согласуется с наблюдаемым. Среднее расхождение — менее 0,1 км/с. Такое же согласование достигается и на геотрансекте Бухарест—Чернобыль. На рис. 10 видно, насколько отчетливо по скоростному разрезу фиксируется внешняя граница Бельцкой ЗСА.

Очевидно, что на рис. 11 представлены две стадии развития процесса СА в коре. В зонах 6 и 7 прогрев верхних горизонтов коры уже достаточен для появления региональных аномалий ТП. В зоне 8 такая аномалия еще отсутствует, встречаются только локальные возмущения, которые не изучены поблизости от профиля (за пределами полосы привлекаемых ТП аномалии есть).

Тем не менее проводящие объекты в коре и мантии и мантийная гравитационная аномалия выявлены во всех ЗСА (рис. 10—12). Резонно полагать, что районы с локальными аномалиями ТП следует считать местом проявления регионального критерия 2. Подтверждает аномальность рассматриваемого участка ДДВ и наличие вблизи профиля пунктов с аномальной изотопией гелия, месторождений УВ с признаками гидрхимической инверсии и проявлениями аномально высоких пластовых давлений.

Более детальная информация о региональных критериях ЗСА для рассмотренных и других зон Украины приведена в публикациях [Гордиенко и др., 1994, 2005, 2006, 2011, 2012, 2015, 2017; Гордиенко, 1999; Гордиенко, Тарасов, 2001; Варенцов и др., 2013 и др.]

Поднятия и тепловой поток. Выше была показана низкая точность оценок ам-

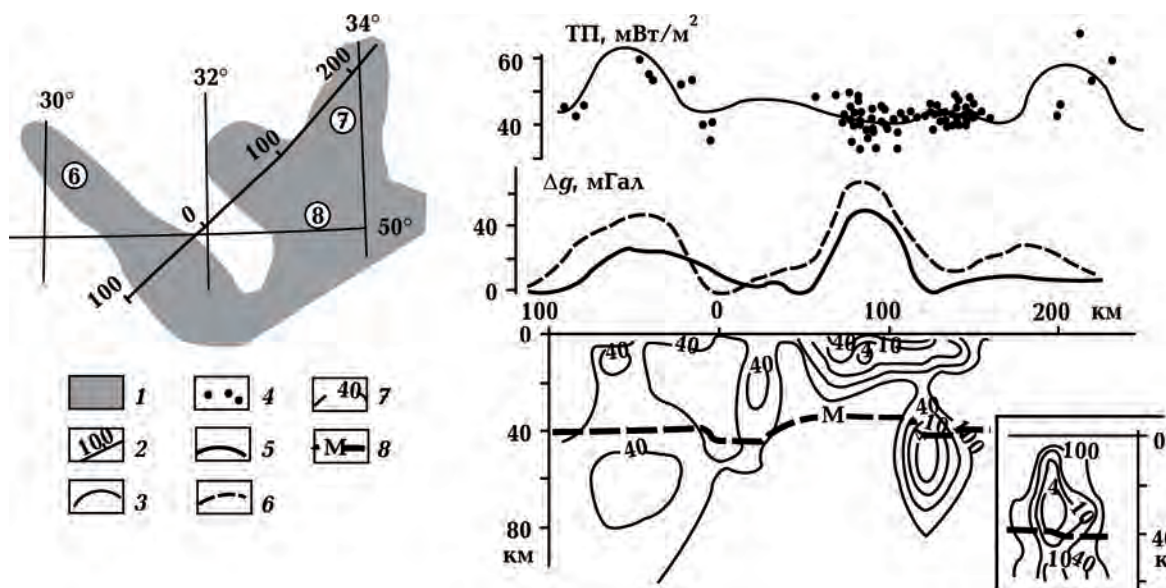


Рис. 11. Аномалии физических полей на профиле, пересекающем Днепровскую, Днепровско-Донецкую и Кировоградскую ЗСА: 1 — зоны СА, 2 — профиль ГСЗ IV, 3, 4 — тепловой поток (3 — расчетный, 4 — экспериментальный), 5, 6 — гравитационное поле (5 — наблюдаемое, 6 — расчетное для коры и нормальной плотности мантии), 7 — изолинии удельного электросопротивления (ρ) в Ом · м, 8 — раздел Мохо. На врезке: распределение ρ под профилем, перпендикулярным профилю ГСЗ IV в районе пк 200.

Fig. 11. Anomalies of physical fields on the profile crossing the Dnieper, Dnieper-Donets and Kirovograd ZRA: 1 — RA zones, 2 — DSS IV profile, 3, 4 — heat flow (3 — calculated, 4 — experimental), 5, 6 — gravity field (5 — observed, 6 — calculated for the crust and normal mantle density), 7 — electrical resistivity isolines (ρ) in Ohm · m, 8 — Moho boundary. Inset: ρ distribution under the profile perpendicular to the DSS IV profile in the area of point 200.

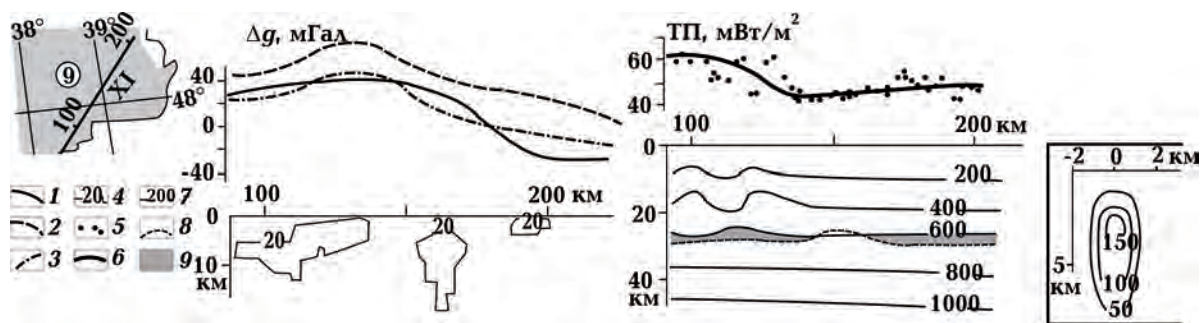


Рис. 12. Аномалии физических полей на профиле ГСЗ XI, пересекающем Донецкую ЗСА: 1—3 — гравитационное поле (1 — наблюдаемое, 2, 3 — расчетное при нормальной плотности пород мантии (2), с учетом аномальной плотности пород мантии (3)), 4 — объекты с величинами ρ менее $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, 5, 6 — тепловой поток (5 — экспериментальный, 6 — расчетный), 7 — изотермы ($^{\circ}\text{C}$), 8 — подошва слоя коры с породами в амфиболитовой фации метаморфизма, 9 — зоны частичного плавления. На врезке: дополнительные аномальные температуры в локально прогретых приразломных зонах.

Fig. 12. Anomalies of physical fields on the DSS XI profile crossing the Donetsk ZRA: 1—3 — gravity field (1 — observed, 2, 3 — calculated (2 — at normal density of mantle rocks, 3 — taking into account the anomalous density of mantle rocks)), 4 — objects with values of ρ below $20 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$, 5, 6 — heat flux (5 — experimental, 6 — calculated), 7 — isotherms ($^{\circ}\text{C}$), 8 — bottom of the crustal layer with rocks in the amphibolite facies of metamorphism, 9 — partial melting zones. Inset: additional abnormal temperatures in locally heated fracture zones.

плитуды современного поднятия поверхности в ЗСА. К сделанным выводам следует добавить также информацию о влиянии на поднятия источников, посторонних относительно рассматриваемого процесса. Речь идет о поднятии в геосинклинали Карпат и опускании в Черноморской впадине (рис. 13).

На рис. 13 видно, что высоты более 50 м довольно широко распространены, в Карпатах они больше (что естественно при сложении эффектов двух источников). Относительные понижения в долинах Днепра, Буга и других рек можно считать локальными осложнениями, не нарушающими общей картины. Это явление детально рассмотрено при анализе миграции речных русел на Восточно-Европейской платформе в период от плиоцена до современности под действием силы Кориолиса [Макаров, 2008]. Отсутствие или сокращение поднятий в приморской части Украины требует отдельного объяснения. Поднятия превышают 50 м на Приазовском массиве, на юге Молдавской плиты и Крыма. Можно допустить, что воздымается и остальная окраина, включая Одесский залив и Азовское море. Во всяком случае, такое впе-

чатление создается при сравнении глубин у берега Украины и, например, Болгарии (рис. 14). В прибрежной части Одесского залива заметна составляющая движения, сокращающая опускание окраины Западно-Черноморской впадины.

Таким образом, можно предполагать распространение значащих поднятий на всю изучаемую территорию прибрежной Украины (до появления более достоверной информации). Северная граница этого сплошного массива поднятий видна на рис. 13. Штриховой линией она показана в местах пересечения основных речных долин. Севернее значащие поднятия встречаются фрагментарно.

Большая часть территории юга Украины, на которой предполагается значащее поднятие, «завуалированное» влиянием погружения впадины Черного моря, по сумме приведенных выше локальных критериев относится к ЗСА.

Имеет смысл проверить соответствие поднятий районам развития прогрета (аномалий ТП), включая территории (в ДДВ), где он представлен только локальными возмущениями. Сравнение было проведено для средних величин в трапециях $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$

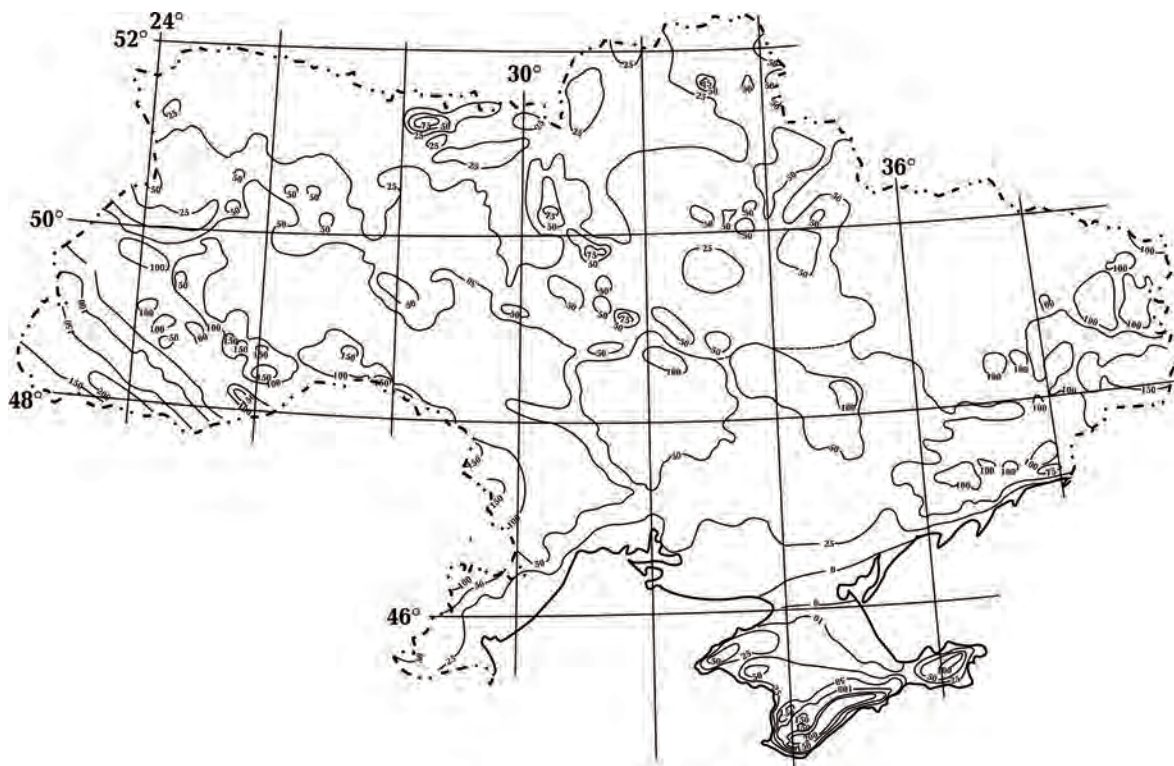


Рис. 13. Амплитуды позднеплиоцен-четвертичного поднятия на территории Украины [Верховцев, 2006, 2008 и др.].

Fig. 13. The amplitudes of the Late Pliocene-Quaternary uplift in Ukraine [Verkhovtsev, 2006, 2008 etc.].

широты и долготы. Исключена прибрежная зона и районы отсутствия определений ТП. Результаты показаны на рис. 15.

Средние значения параметров демонстрируют приемлемую согласованность: типичные отклонения ТП от средней линии составляют около 3 мВт/м^2 , т. е. близки к погрешности определения ТП. Можно допустить, что аномальными являются поднятия более 50 м и ТП более 50 мВт/м^2 .

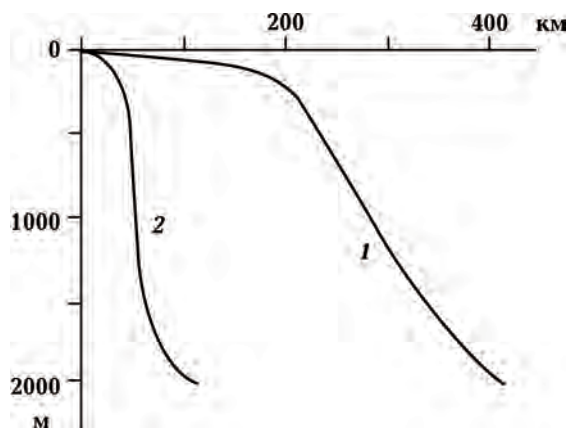


Рис. 14. Глубина дна Черного моря при удалении от берега Украины (1) и Болгарии (2).

Fig. 14. The depth of the bottom of the Black Sea when moving away from the coast of Ukraine (1) and Bulgaria (2).

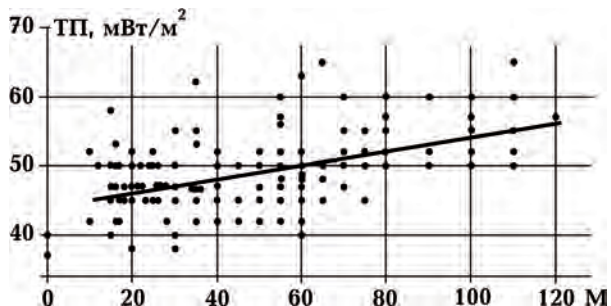


Рис. 15. Сравнение средних в трапециях ТП и амплитуд поднятий.

Fig. 15. Comparison of the average HF and amplitudes of elevations in the trapezoid.

Сопоставление региональных критериев. Региональные критерии 1—4 служат главными основаниями для выделения ЗСА в платформенной части Украины. За ее пределами (в Карпатах и на Скифской плите) достаточно других данных для диагностики активизации. Тем не менее ниже рассматривалась вся территория Украины, в том числе неплатформенная с использованием упомянутых критериев. Результаты решения такой задачи представляют определенный интерес, так как позволяют провести сопоставление независимо установленных границ зон (см. ниже).

Для изучаемой территории определялась степень согласования площадей распространения критериев. Их относительный вес может быть определен только с большой натяжкой, поэтому на данном этапе исследования (как и ранее) они считались равноправными. Другими словами, при совпадении всех четырех критериев территория считалась на 100 % соответствующей ЗСА, трех — на 75 % и т. д.

Эта конструкция осложнялась проблемами в изученности ТП. На самом деле определение мантийной гравитационной аномалии, опирающейся на данные о скоростных разрезах коры по ГСЗ, сопряжено также с появлением значительных пробелов в поле гравитационного эффекта коры. Но наблюдаемое поле известно повсеместно, и в большинстве случаев удается довольно уверенно интерполировать изучаемые эффекты между профилями ГСЗ. В поле ТП этого сделать нельзя. Поэтому в районах отсутствия определений ТП оценки проводились максимум для трех критериев. Конечно, это резко понижало достоверность результата.

Распределение поднятий показано на рис. 13 и сопровождается предположением о распространении значимых величин в южной части Украины.

Аномальный ТП и районы, где он не изучен, иллюстрирует рис. 16. Для территории ДДВ достаточной характеристикой аномальности считалось наличие локальных возмущений ТП (см. выше).

На рис. 17 показано распределение

значущей мантийной гравитационной аномалии.

Изученность территории Украины геоэлектрическими методами очень велика. Это дает принципиальную возможность построения трехмерных моделей распределения электропроводности в коре и верхней мантии. Однако к настоящему времени еще не достигнут необходимый уровень согласования и обработки разновременных результатов, полученных с помощью разной аппаратуры. И не полностью отработана адекватная методика моделирования. Не все выявляемые аномалии электропроводности могут быть связаны в СА. Не исключено влияние концентрации электронных проводников в коре (графит и др.). В некоторых случаях можно предполагать повышенную флюидонасыщенность среды. Она, даже имея тепловую природу, создает эффекты, не совпадающие с результатами просто прогрева и незначительной степени частичного плавления. Поэтому приведенные на рис. 18 результаты следует рассматривать как предварительные.

Результаты обобщения данных четырех (местами трех) региональных критериев показаны на рис. 19.

Выделенные зоны принципиально не отличаются от установленных ранее. Есть несколько исключений.

1. Граница в южной части ВПП и западной Южно-Украинской моноклинали. Здесь отсутствуют определения ТП, максимально велики вероятные ошибки в определении области поднятия поверхности и мантийной гравитационной аномалии. Поэтому следует предпочесть границу области распространения аномально низких скоростей в верхних горизонтах мантии (см. выше). К сожалению, в платформенных районах и Донбассе систематической информации по этому поводу нет.

2. Привлечение информации по территории Припятского прогиба позволило существенно пересмотреть контур севера Днепровской аномалии. В прогибе активизация не вызывает сомнений: прежде всего здесь почти до края УЩ отмечается

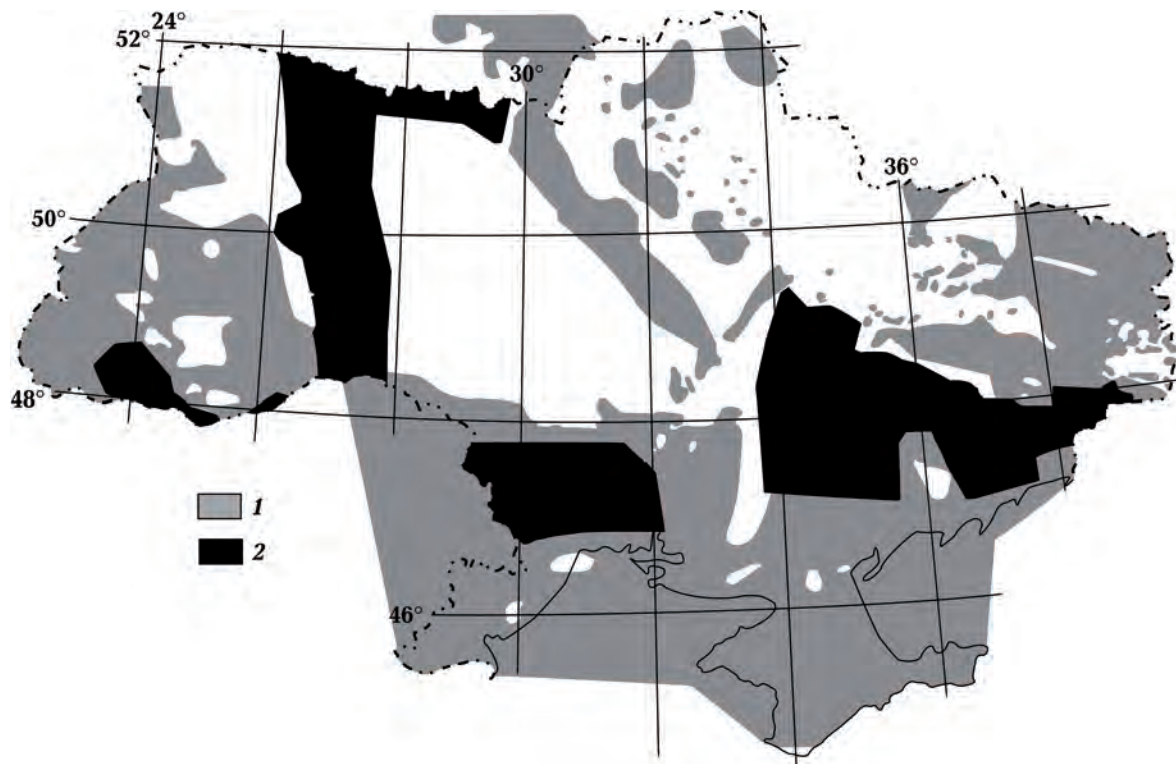


Рис. 16. Распределение аномального (более 50 мВт/м^2) теплового потока на территории Украины: 1 — аномальный ТП, 2 — районы отсутствия определений ТП.

Fig. 16. Distribution of anomalous (above 50 мВт/м^2) heat flow in Ukraine: 1 — anomalous HF, 2 — areas of absence of HF.

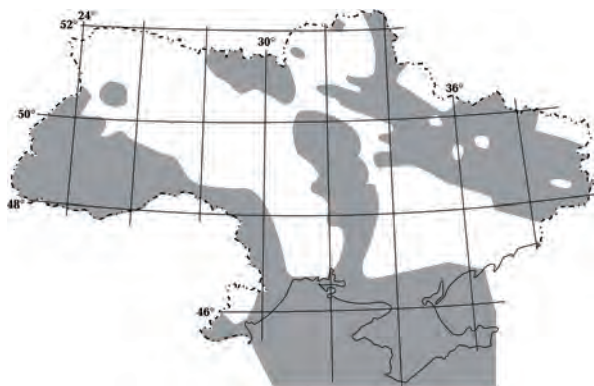


Рис. 17. Распределение мантийной гравитационной аномалии интенсивностью более минус 20 мГл.

Fig. 17. Distribution of mantle gravity anomalies with an intensity below minus 20 mGal.



Рис. 18. Распределение проводящих объектов в коре и/или верхней мантии территории Украины [Логвинов и др., 2015, 2019; Ковачикова и др., 2016; Logvinov et al., 2018 и др.].

Fig. 18. Distribution of conductive objects in the crust and/or upper mantle in Ukraine [Logvinov et al., 2015, 2019; Kovachikova et al., 2016; Logvinov et al., 2018 etc.].

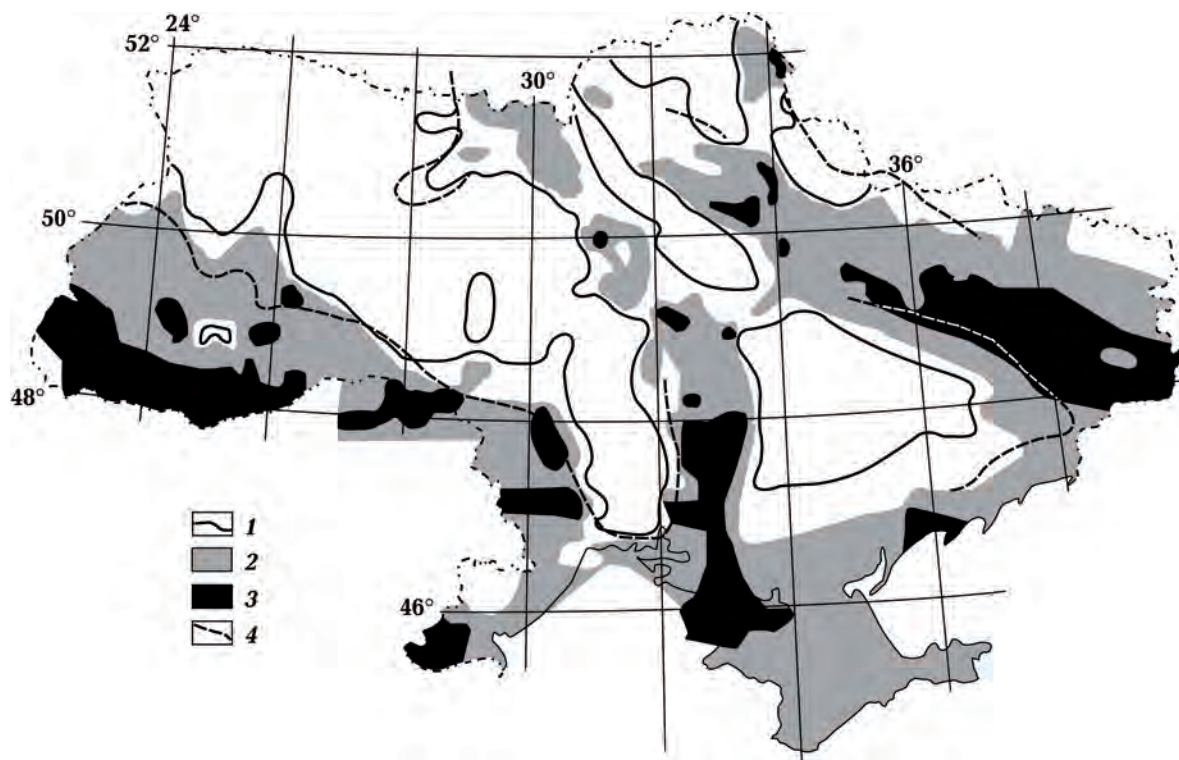


Рис. 19. Распределение зон СА Украины по региональным критериям (с добавкой данных по локальным): 1—3 — граница района с вероятностью активизации 50 % (1), 75—100 % (2), 100 % (3), 4 — граница ЗСА в некоторых районах, где удается ее определить по уровню скорости сейсмических волн под Мохо (см. рис. 2).

Fig. 19. Distribution of zones RA of Ukraine according to regional criteria (with the addition of data on local ones): 1—3 — the boundary of the region with an activation probability of 50 % (1), 75—100 % (2), 100 % (3), 4 — the ZRA boundary in some areas where it can be determined by the level of seismic wave velocity near Moho (see Fig. 2).

незначительная нефтеносность. Севернее границы фиксируются аномалии ТП, изотопии гелия, выделяется мантийная гравитационная аномалия (продолжающаяся и в пределы Украины). Отмечена незначительная сейсмичность. Поэтому, несмотря на «белое пятно» на карте ТП Украины, удастся присоединить небольшой район к ЗСА.

3. В Днепровско-Донецкой зоне установленная по четырем региональным критериям зона оказалась заметно уже района распространения нефтегазоносности. Это произошло за счет ограничения контура распространения аномалий ТП. Естественно было ввести соответствующее исправление.

4. В настоящее время (в отличие от пред-

шествующего) с небольшой вероятностью к ЗСА отнесена территория Деснянского бассейна ДДВ. Можно отметить черты геологического развития, проявлений УВ и аномалий физических полей, сближающие его с Припятским прогибом. Есть смысл подробнее рассмотреть имеющуюся информацию и, возможно, увеличить вероятность современной активизации бассейна.

Довольно существенны противоречия между разными вариантами внешних границ ЗСА по скоростным аномалиям в мантии и четырем региональным критериям. Для оценки величины различия нет смысла ориентироваться на прерывистый контур 100 % совпадений. В еще меньшей степени подходит для этой цели контур 50 %, явно подверженный большим флуктуациям, в

том числе в районах отсутствия определений ТП. Относительно контура 75 % отклонения скоростной границы составляют в среднем около ± 17 км, их распределение довольно симметрично. Средняя величина не слишком велика, но встречаются районы с расхождениями до 3 раз большими.

Заключение. Можно констатировать, что задача, поставленная авторами перед собой, в целом решена. Прделанная работа дала возможность охарактеризовать современную ситуацию с определением границ ЗСА на территории Украины и наметить некоторые меры для их уточнения. Следует рассмотреть обоснованность отнесения прибрежной части Украины к

области значимых поднятий. Сейчас это скорее предположение. Замечание относится к территории, ограниченной координатами $46,5^{\circ}$ — $47,5^{\circ}$ с. ш. и 32° — $35,5^{\circ}$ в. д. При любом исходе дополнительного изучения вопроса выделение ЗСА в этом районе состоится. Необходимо накопление данных о районах пониженных скоростей распространения сейсмических волн в верхних горизонтах мантии платформенной части Украины и совершенствование методики построения 3D геоэлектрических моделей. Можно предполагать, что наиболее объективными окажутся границы ЗСА, построенные по всем региональным критериям с добавкой сейсмологического.

Список литературы

- Варенцов И.М., Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н., Трегубенко В.И. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы) Киев: Логос, 2013. 112 с.
- Верховцев В.Г. Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємовідношення з лінійними та кільцевими структурами. В кн.: Енергетик а Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання. Київ: Вид. КНУ, 2006. С. 129—137.
- Верховцев В.Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: Автореф. дис. ... д-ра геол. наук. Київ: ІГН НАНУ, 2008. 36 с.
- Гобаренко В.С., Нестеров А.Н. Скоростная структура переходной зоны кора—верхняя мантия в Западно-Черноморской впадине. *Культура народов Причерноморья*. 2009. № 156. С. 9—15.
- Гордиенко В.В. Плотностные модели тектоносферы территории Украины. Киев: Знання, 1999. 100 с.
- Гордиенко В.В. Тепловые процессы, геодинамика, месторождения. 2017. 285 с. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>.
- Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я. Скоростная модель подкоревой мантии Украины. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 6. С. 29—50. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151004>.
- Гордиенко В., Гордиенко И., Завгородняя О. Тепловое поле и геозенергетические ресурсы Украины. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publ., 2016. 108 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В. Тепловые модели зон киммерийской и современной активизации территории Украины. *Докл. НАН Украины*. 1994. № 12. С. 81—84.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Пек Й., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Днепро-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). Киев: Корвін пресс, 2006. 143 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Вольно-Подольская плита (геофизика, глубинные процессы). Киев: Наук. думка, 2012. 193 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Украинские Карпаты (геофизика,

- глубинные процессы). Киев: Логос, 2011. 129 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Ковачикова С., Логвинов И.М., Тарасов В.Н., Усенко О.В. Украинский щит (геофизика, глубинные процессы). Киев: Корвін пресс, 2005. 210 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Донбасс (геофизика, глубинные процессы). Киев: Логос, 2015. 159 с.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В., Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Южно-Украинская моноклиналь, Скифская плита, Черное море (геофизика, глубинные процессы). 2017. 131 с. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>.
- Гордиенко В.В., Тарасов В.Н. Современная активизация и изотопия гелия территории Украины. Киев: Знання, 2001. 102 с.
- Ковачикова С., Логвинов И.М., Пек Й., Тарасов В.Н. Моделирование земной коры Украины по результатам магнитотеллурических исследований с использованием новых методик инверсий. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 6. С. 83—100. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91871>.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы VI, VI, VIII. Ред. В.Б. Соллогуб. Киев: Наук. думка, 1988. 140 с.
- Логвинов И.М., Тарасов В.М. Геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии вдоль профиля ГСЗ Новоазовск—Титовка. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 3. С. 139—152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111115>.
- Логвинов И.М., Тарасов В.Н. Электропроводность коры и мантии Восточно-Европейской платформы в западной части Украины по данным 2D инверсии. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 1. С. 44—75. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158863>.
- Макаров В.И. Четвертичная тектоника и геодинамика платформенных территорий: актуальные проблемы изучения. *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода*. 2008. № 68. С. 10—25.
- Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А., Логинов В.А., Нурмухамедов А.Г., Алексеев Д.А. Изменение электропроводности литосферы в районе очага сильнейшего Олоторского землетрясения в Корякском нагорье. *Физика Земли*. 2016. № 1. С. 31—46.
- Национальный атлас России Т. 2. Природа и экология. Москва: Госгисцентр, 2004. 495 с.
- Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Ред. Р.Г. Гарецкий. Минск: Наука и техника, 1985. 137 с.
- Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев: Наук. думка, 1986. 184 с.
- Харитонов О.М., Красовский С.С., Куприенко П.Я., Кутас В.В., Соллогуб Н.В., Дрогицкая Г.М., Тимошенко В.И., Шляховский В.А. Литосферный трансект Вранча—Южно-Украинская АЭС. *Геофиз. журн.* 1993. Т. 15. № 5. С. 23—31.
- Харитонов О.М., Омельченко В.Д., Дрогицкая Г.М., Кутас В.В. Литосферный трансект Бухарест—Чернобыль. *Докл. НАН Украины*. 1995. № 5. С. 84—87.
- Яновская Т.Б., Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Строение подкоровой литосферы Черноморского бассейна по сейсмологическим данным. *Физика Земли*. 2016. № 1. С. 15—30.
- Gordienko, V.V. (2016). Deep-seated processes in the tectonosphere of continental rifts. *NCGT Journal*, (3), 361—388.
- Gordienko, V.V. (2019). The energy balance of Earth's tectonosphere. *IOP Conference Series: EES*, 249, 12 p.
- Logvinov, I., & Tarasov, V. (2018). Electric resistivity distribution in the Earth's crust and upper mantle for the southern East European Platform and Crimea from area-wide 2D models. *Acta Geophysica*, 66, 131—139. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0125-2>.
- Wéber, Z. (2002). Imaging Pn velocities beneath the Pannonian Basin. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 129(3-4), 283—300. [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(01\)00299-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(01)00299-0).

Зоны современной активизации территории Украины

***В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко, Л. Я. Гордиенко, О. В. Завгородняя,
И. М. Логвинов, В. Н. Тарасов, 2020***

Зоны современной активизации на территории Украины изучаются сотрудниками отдела тектоносферы Института геофизики НАН Украины уже в течение 25 лет с использованием обширного комплекса геолого-геофизических данных. Интерес к этим объектам обусловлен не только стремлением исследовать механизмы глубинных процессов, но и связью с зонами месторождений различных полезных ископаемых. Привлекается информация о позднеплиоцен-четвертичных движениях поверхности, нефтегазоносности районов гидрохимической инверсии, аномальновысоких пластовых давлений, развитии молодой рудной минерализации, об аномальной изотопии гелия подземных вод и газов, областях распространения пониженных скоростей продольных сейсмических волн в земной коре и верхних горизонтах мантии, аномально тонкой земной коре, аномалиях теплового потока, повышенной проводимости пород коры и мантии, мантийных гравитационных аномалиях. Выделено 12 зон, занимающих около половины территории Украины. Одна из них включает в себя Карпатский регион с альпийской складчатостью, остальные зоны расположены в платформенных структурах разного возраста — от докембрийского до посткиммерийского. За названный период степень геотермической и геоэлектрической изученности территории Украины многократно увеличена, существенно дополнены данные об изотопии гелия. Изменилась методика интерпретации экспериментальной информации. Очевидны необходимость обобщения накопившихся сведений и их анализ на основе единого методического подхода. Предпринята попытка решения одной из таких задач — построение современного варианта границ зон современной активизации.

Ключевые слова: зоны современной активизации территории Украины, комплекс геолого-геофизических методов.

Zones of recent activation of Ukraine

***V. V. Gordienko, I. V. Gordienko, L. Ya. Gordienko, O. V. Zavgorodnyaya,
I. M. Logvinov, V. N. Tarasov, 2020***

Zones of recent activation (ZRA) in Ukraine have been studied by researchers of the Tectonosphere Department of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine for 25 years using an extensive set of geological and geophysical data. Interest in these objects is caused not only by the desire to investigate the mechanisms of deep processes, but also by the relationship with the zones of deposits of various minerals. The information is collected on late Pliocene-Quaternary surface movements, the distribution of oil and gas, areas of hydrochemical inversion, abnormally high formation pressures, the spread of young ore mineralization, anomalous helium isotopy of underground water and gases, regions of low velocities of longitudinal seismic waves in the earth's crust and upper horizons of the mantle, about abnormally thin crust, heat flow anomalies, increased conductivity of crust and mantle rocks, and mantle gravitational anomalies. 12 zones were allocated, occupying about half of the territory of Ukraine. One of them includes the Carpathian region with alpine folding, the rest are located on platforms of different ages — from Precambrian to post-Cimmerian. During the mentioned period, the conducted

studies have greatly increased the geothermal and geoelectric exploration of Ukraine, the data on helium isotopy have been substantially supplemented, and other geological and geophysical data have appeared. The methodology for interpreting experimental information has changed significantly. The need for summarizing the accumulated information and their analysis on the basis of a single methodical approach is obvious. The article attempts to solve one of these problems — building a modern version of the boundaries of the zones of recent activation.

Key words: zones of recent activation of the territory of Ukraine, a complex of geological and geophysical methods.

References

- Varentsov, I.M., Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., & Tregubenko, V.I. (2013). Slope of the Voronezh crystalline massif (geophysics, deep processes) Kiev: Logos, 112 p. (in Russian).
- Verkhovtsev, V.G. (2006). The newest vertical movements of the Earth's crust of the Ukrainian territory, their mutual relations with linear and ring structures. In *Energy of the Earth, its geological and ecological manifestations, scientific and practical use* (pp. 129—137). Kiev: Edition of Kiev National University (in Ukrainian).
- Verkhovtsev, V.G. (2008). Modern platform geostructures of Ukraine and dynamics of their development. *Doctor's thesis*. Kiev: IGN NASU, 36 p. (in Ukrainian).
- Gobarenko, V.S., & Nesterov, A.N. (2009). Velocity structure of the transition zone crust—upper mantle in the West-Black Sea basin. *Kultura narodov Prichernomor'ya*, (156), 9—15 (in Russian).
- Gordienko, V.V. (1999). *Density models of the tectonosphere of the territory of Ukraine*. Kiev: Znannya, 100 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V. (2017). *Thermal processes, geodynamics, deposits*. 285 p. <https://ivan-gord2000.wixsite.com/tectonos> (in Russian).
- Gordienko, V.V., & Gordienko, L.Ya. (2018). Velocity model of the Ukrainian subcrustal mantle. *Geofizicheskiy zhurnal*, 40(6), 29—50]. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151004> (in Russian).
- Gordienko, V., Gordienko, I., & Zavgorodnyaya, O. (2016). *Thermal field and geoenergetic resources of Ukraine*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publ., 108 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., & Zavgorodnyaya, O.V. (1994). Thermal models of the zones of Cimmerian and recent activation of the Ukrainian territory. *Doklady NAN Ukrainy*, (12), 81—84 (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., Pek, J., Tarasov, V.N., & Usenko, O.V. (2006). *Dnieper-Donets Basin (geophysics, deep processes)*. Kiev: Korwin Press, 143 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., & Tarasov, V.N. (2012). *Volyn-Podilsky plate (geophysics, deep processes)*. Kiev: Naukova Dumka, 193 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., & Tarasov, V.N. (2011). *Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes)*. Kiev: Logos, 129 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Kovachikova, S., Logvinov, I.M., Tarasov, V.N., & Usenko, O.V. (2005). *Ukrainian Shield (geophysics, deep processes)*. Kiev: Korwin Press, 210 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., Logvinov, I.M., & Tarasov, V.N. (2015). *Donbass (geophysics, deep processes)*. Kiev: Logos, 159 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorod-

- nyaya, O.V., Logvinov, I.M., Tarasov, V.N. (2017). *South-Ukrainian monocline, Scythian plate, Black Sea (geophysics, deep processes)*. 131 p. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos> (in Russian).
- Gordienko, V.V., & Tarasov, V.N. (2001). *Recent activation and helium isotopy of the Ukrainian territory*. Kiev: Znannya, 102 p. (in Russian).
- Kovachikova, S., Logvinov, I.M., Pek, J., & Tarasov, V.N. (2016). Modeling of the Earth's crust of Ukraine by the results of the magnetotelluric studies using new methods of inversion. *Geofizicheskiy zhurnal*, 38(6), 83—100. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91871> (in Russian).
- Sollogub, V.B. (Ed.). (1988). *The lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraverses VI, VI, VIII*. Kiev: Naukova Dumka, 140 p. (in Russian).
- Logvinov, I.M., & Tarasov, V.M. (2015). Geoelectric model of the crust and upper mantle along DSS profile Novoazovsk—Titovka. *Geofizicheskiy zhurnal*, 37(3), 139—152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111115> (in Russian).
- Logvinov, I.M., & Tarasov, V.N. (2019). Electrical conductivity of the crust and mantle of the East European platform in the western part of Ukraine from 2D inversion. *Geofizicheskiy zhurnal*, 41(1), 44—75. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158863> (in Russian).
- Makarov, V.I. (2008). Quaternary tectonics and geodynamics of platform territories: actual problems of study. *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, (68), 10—25 (in Russian).
- Moroz, Yu.F., Moroz, T.A., Logvinov, V.A., Nurmukhamedov, A.G., & Alekseev, D.A. (2016). Changes in the electrical conductivity of the lithosphere in the region of the source of the strongest Olyutor earthquake in the Koryak upland. *Fizika Zemli*, (1), 31—46 (in Russian).
- National Atlas of Russia. Vol. 2. Nature and ecology. (2004). Moscow: Gosgistsentr, 495 p. (in Russian).
- Garetskiy, R.G. (Ed.). (1985). *Seismological and geothermal studies in Belarus*. Minsk: Nauka i tehnika, 137 p. (in Russian).
- Sollogub, V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 184 p. (in Russian).
- Kharitonov, O.M., Krasovskiy, S.S., Kuprienko, P.Ya., Kutas, V.V., Sollogub, N.V., Drogitskaya, G.M. Timoshenko, V.I., & Shlyahovskiy, V.A. (1993). Lithospheric transect Vrancha—South-Ukrainian NPP. *Geofizicheskiy zhurnal*, 15(5), 23—31 (in Russian).
- Kharitonov, O.M., Omelchenko, V.D., Drogitskaya, G.M., & Kutas, V.V. (1995). The lithospheric transect Bucharest—Chernobyl. *Doklady NAN Ukrainy*, (5), 84—87 (in Russian).
- Yanovskaya, T.B., Gobarenko, V.S., & Yegorova, T.P. (2016). The structure of the subcrustal lithosphere of the Black Sea basin according to seismological data. *Fizika Zemli*, (1), 15—30 (in Russian).
- Gordienko, V.V. (2016). Deep-seated processes in the tectonosphere of continental rifts. *NCGT Journal*, (3), 361—388.
- Gordienko, V.V. (2019). The energy balance of Earth's tectonosphere. *IOP Conference Series: EES*, 249, 12 p.
- Logvinov, I., & Tarasov, V. (2018). Electric resistivity distribution in the Earth's crust and upper mantle for the southern East European Platform and Crimea from area-wide 2D models. *Acta Geophysica*, 66, 131—139. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0125-2>.
- Wéber, Z. (2002). Imaging Pn velocities beneath the Pannonian Basin. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 129(3-4), 283—300. [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(01\)00299-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(01)00299-0).