

# Геофлюиды и современное проявление активизации Ингульского мегаблока Украинского щита

© В. И. Старостенко<sup>1</sup>, А. Е. Лукин<sup>2</sup>, Т. А. Цветкова<sup>1</sup>,  
Л. А. Шумлянская<sup>1</sup>, 2014

<sup>1</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 14 мая 2013 г.

*Представлено членом редколлегии О. В. Усенко*

Високий ступінь геолого-геофізичної вивченості корових процесів у поєднанні з аналізом 3D *P*-швидкісної моделі мантії під Українським щитом і його південним оточенням до глибини 2500 км дали змогу співвіднести прояви виділеного можливого надглибинного флюїдного процесу з вуглеводнево-газоконденсатними проявами в межах Новокосянтинівського рудного поля.

**Ключові слова:** геофлюїди, швидкісна будова мантії, вуглеводні, вуглеводневий потенціал.

**Введение.** Результаты бурения Кольской сверх-глубокой, а также глубокой скважины в кратере Сильян (Швеция), материалы геохимических, геотермических, геоэлектрических, сейсмических исследований на Фенноскандинавском, Канадском, Украинском и других докембрийских кристаллических щитах коренным образом изменили представление о них как о древних геодинамически и геотермодинамически стабильных структурах. Напротив, оказалось, что на некоторых этапах неогена (включая нео- и актуотектонический) они характеризуются значительной геодинамической и флюидодинамической активностью, современными процессами глубинной дегазации земных недр. В этом отношении особый интерес представляет Украинский щит (УЩ), который характеризуется высокой степенью геолого-геофизической изученности, широким диапазоном петро- и рудогенеза (на сравнительно небольшой территории), разнообразными проявлениями эндогенной активности в неогене, обусловленной особенностями его геодинамической эволюции и тектонической позиции (см. ниже).

Тектоногеодинамическая специфика УЩ была ясна еще пионерам ее изучения: А. П. Карпинскому, Д. Н. Соболеву, М. М. Тетяеву, Н. И. Безбородько, В. И. Лучицкому, Ю. И. Половинки-

ной и др. Еще в работах конца XIX — начала XX в. (В. А. Домгер, П. П. Пятницкий, В. Д. Ласкарев, Б. Л. Личков и др.) в основу трактовки происхождения и тектонического районирования УЩ были положены представления о его формировании в результате нескольких эпох разнопланового складкообразования с различными режимами петрогенезиса (метаморфизма и магматизма). Указанные принципы получили наиболее полное воплощение в схеме тектонического районирования УЩ, разработанной Д. Н. Соболевым (древнейшие структуры УЩ "бугиды" — дислокации северо-западного и юго-восточного направлений; "борисфениды" — структуры Приднепровья северо-западной ориентировки; "саксаганиды" — меридиональные криворожские складки; "коростениды" и наиболее молодые — "курсуниды", соответствующие массивам гранитов рапакиви и овручским складкам) [Соболев, 1936]. Указанная концепция определила магистральное направление исследований УЩ. "Більшість дослідників і тепер вважає структуру УЩ багатоярусною та багаточиклічною, виділяючи різні напрямки складчастості, які виділяються у часі періодами перебудови (переорієнтування) тектонічного плану" [Каляев та ін., 1972, с. 14]. Аналогічними особливостями строения и докембрий-

ской тектонической эволюции характеризуется и Воронежский кристаллический массив, входивший, наряду с УЩ, в состав Сарматского (палео)щита, который распался в результате позднедевонского, а возможно, и позднепротерозойского рифтогенеза [Лукин и др., 1992].

Однако при несомненном единстве многоярусного полициклического строения УЩ и Воронежского массива как фрагментов архейско-нижнепротерозойского фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) они существенно отличаются друг от друга по характеру тектоногеодинамической эволюции в неогее, что четко выражается в фашиально-палеогеографической и литогеодинамической диссимметрии практически всех фанерозойских тектоноформационных комплексов Днепровско-Донецкого авлакогена, обусловленной гораздо большей кон- и постседиментационной тектоногеодинамической активностью УЩ [Лукин, 1997]. Здесь следует отдать должное интуиции М. М. Тетяева, который, в отличие от А. Д. Архангельского, Н. С. Шатского и других исследователей, рассматривал УЩ не как пассивный выступ ("останец") докембрийского фундамента ВЕП, а как герцинский антиклинорий [Тетяев, 1926]. Это находит подтверждение и в современных геодинамических реконструкциях [Чекунов, 1989; Паталаха, 2005 и др.]. В возникновении УЩ особую роль сыграли разновозрастные процессы континентального (упоминавшийся распад Сарматского щита, формирование Днепровско-Донецкого авлакогена) и океанического (возникновение палеоокеанов, впоследствии трансформированных в различные сегменты Альпийско-Гималайского орогенического пояса с фрагментами байкальских, каледонских и герцинских складчатых сооружений) рифтогенеза, океанической и континентальной субдукций. Разновозрастные субдукционные (В- и А-субдукция) процессы существенно проявились в окончательном оформлении специфических структурно-геологических особенностей УЩ как геологического тела (дугообразная форма в плане, распределение мощностей литосферы, характер строения), что дало основания Е. И. Паталахе рассматривать его как "передовой литосферный вал" (точнее, его уцелевший фрагмент — А. Л.) юго-западного форланда Восточно-Европейского кратона. Именно взаимодействием разновозрастных субдукционных (В- и А-субдукция) и рифтогенных процессов можно объяснить сложный аккреционный характер строения УЩ, закономерности его петрологии и минералогии. Форми-

рование передового литосферного вала (forebuldge) связано со сменой океанической субдукции континентальной, снижением темпов погружения слэба, утолщением земной коры и литосферы в целом при их резко выраженном аккреционном строении [Лукин, 2011]. Формирующийся передовой литосферный вал (forebuldge) перед фронтом субдукционной зоны [в настоящее время эта тектоногеодинамическая позиция замаскирована системой разновозрастных (байкалиды—альпиды) складчато-орогенных сооружений юго-западного форланда ВЕП] существенно изменил характер тектонофизических процессов, способствуя стягиванию тектонических напряжений на утолщенную литосферу и процессам разрушения при продольном сжатии. Последующая смена В- и А-субдукционных режимов коллизионными способствовала "разрыхлению" этого аккреционного сооружения и процессам дилатансии входящих в их состав породных тел [Лукин, 2011]. Благодаря своей геотектонической позиции литосферный вал типа forebuldge является "форпостом" кратона на путях тепломассопереноса в направлениях от складчато-орогенических поясов к центральным частям кратонов.

Таким образом, тектоника, геодинамика и флюидодинамика УЩ были тесно связаны с возникновением и тектоногеодинамической эволюцией Тетиса—Паратетиса, причем связь эта осуществлялась различными путями (резонансная тектоника в понимании Ю. М. Пуцаровского, инициирование и активизация плюмов и т. п.).

Работы по реконструкции Тетиса с привлечением результатов сейсмомографии не анализируют интересующую нас область Паратетиса [Hafkenscheid et al., 2006 и др.]. В то же время, полученное детальное скоростное строение мантии под южной окраиной ВЕП, Черного моря и далее на юг, вплоть до Афро-Аравийской платформы включительно, позволяют поставить вопрос о возможных следах в мантии процессов, связанных с Тетисом, и влиянии последних на скоростные структуры мантии под ВЕП. Детально распространение мантийных скоростных границ пограничной области ВЕП приведено в работе [Цветкова, Бугаенко, 2012].

Благодаря тектонической позиции УЩ как передового субдукционного вала юго-западного форланда литосферы Восточно-Европейского кратона и его тектонофизическим особенностям сформировалось сложное аккреционно-блоковое строение УЩ (рис. 1), которое

находит свое отражение в скоростных характеристиках не только коры, но и мантии [Шумлянская, 2008].

Современные геофизические, геохимические, петрологические данные (работы Н.Л. Добрецова, А.Ф. Летникова, А.А. Маракушева, Ю.М.

и Д.Ю. Пущаровских, В.Е. Хаина, А.Д. Щеглова, Л.Н. Когарко, Д.И. Рябчикова, D. Anderson, A. Dziewonski, M. Kumazava, S. Maruyama, I. Woodhouse, J. Montagner и др.) свидетельствуют об активном обмене энергией и веществом между всеми геосферами Земли. При этом,

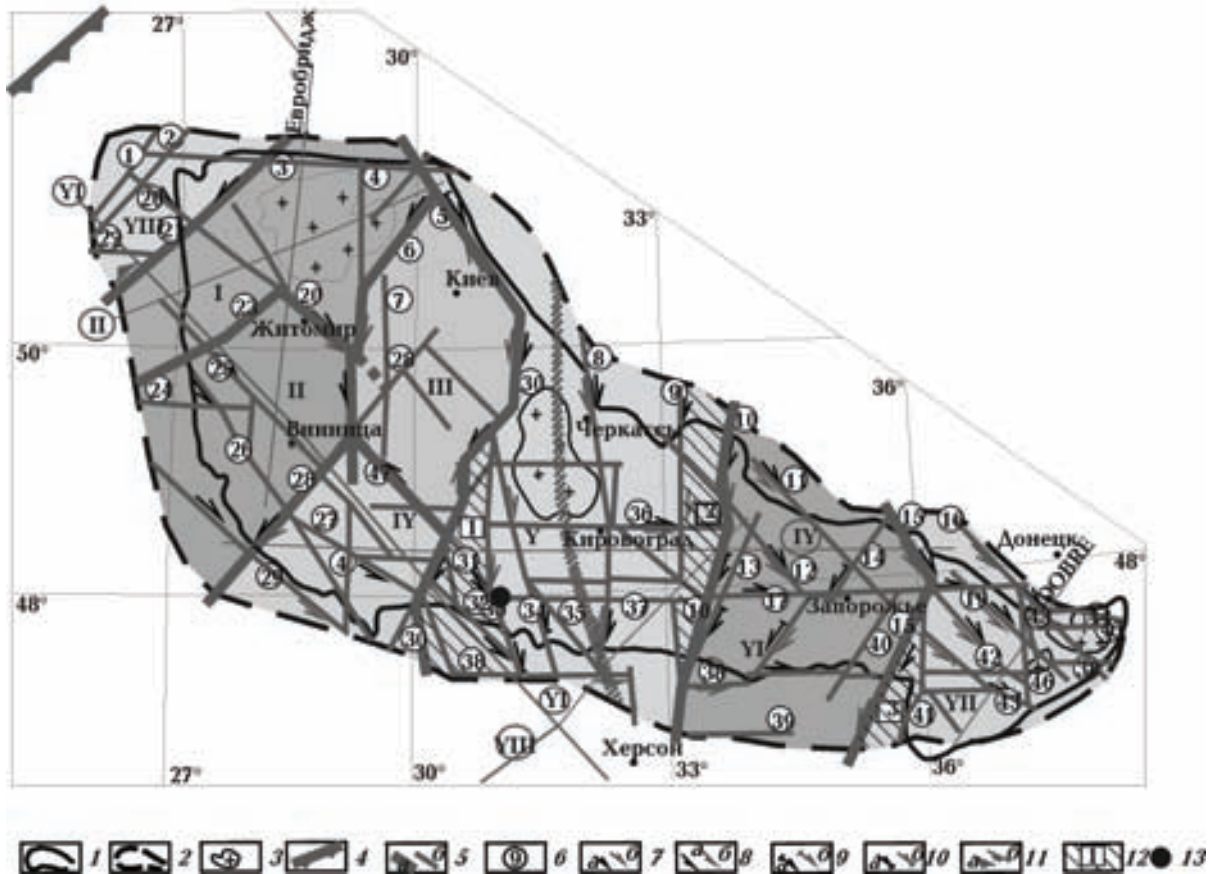


Рис. 1 Тектоническая схема и схема основных зон разломов УЩ и его склонов, по [Гинтов, Пашкевич, 2010]: 1 — контур обнаженной части щита, 2 — контур склонов щита, в пределах которых прослеживаются складчатые и разрывные структуры докембрийского фундамента по геофизическим данным, 3 — плутоны и крупные интрузивные массивы гранитоидов, 4 — граница между Сарматией и Фенноскандией, 5 — зоны разломов межмегаблоковые (а), внутримегаблоковые (б), 6 — номера зон разломов (1 — Горынская, 2 — Луцкая, 3 — Полесская, 4 — Звиздаль-Залесская, 5 — Ядлов-Трактемировская, 6 — Чернобыльская, 7 — Брусиловская, 8 — Кировоградская, 9 — Западно-Ингулецкая, 10 — Криворожско-Кременчугская, 11 — Днепродзержинская, 12 — Светловодская, 13 — Саксаганская, 14 — Дерезоватская, 15 — Орехово-Павлоградская, 16 — Центрально-Волновахская, 17 — Девладовская, 18 — Малоянисольская, 19 — Краснополянская, 20 — Сарненско-Варваровская, 21 — Суцано-Пержанская, 22 — Владимир-Волынская, 23 — Тетеревская, 24 — Хмельницкая, 25 — Хмельницкая, 26 — Летичевская, 27 — Ободовская, 28 — Немировская, 29 — Подольская, 30 — Тальновская, 31 — Емиловская, 32 — Вradiевская, 33 — Первомайская, 34 — Звенигородско-Братская, 35 — Новоукраинская, 36 — Субботско-Мошоринская, 37 — Бобринецкая, 38 — Конкская, 39 — Горностаевская, 40 — Малоекатериновская, 41 — Азовско-Павловская, 42 — Куйбышевская, 43 — Сорокинская, 44 — Южно-Донбасская, 45 — Верхнекамывшевахская, 46 — Центрально-Приазовская, 47 — Ташевская), 7—11 — кинематические знаки (7 — правый сдвиг, 8 — левый сдвиг, 9 — взбросо-сдвиг, 10 — сбросо-сдвиг, а — во время заложения, б — во время главной фазы активизации, 11 — взброс (а) и сброс (б)), 12 — шовные зоны (1 — Голованевская, 2 — Ингулецко-Криворожская, 3 — Орехово-Павлоградская), 13 — Новокиостантиновское рудное поле. Мегаблоки: I — Волинский, II — Подольский, III — Росинский, IV — Бугский, V — Ингульский, VI — Среднеприднепровский, VII — Приазовский, VIII — Волыно-Полесский вулканоплутонический пояс.

если раньше основная геодинамическая и флюидодинамическая активность связывалась с аномальной верхней мантией и астеносферой, то в свете новых данных на первый план выходит переходная зона между ядром и мантией — “нижняя астеносфера” [Хаин, 2003; Планета ..., 2004], неразрывно связанная с внешним жидким ядром и несопоставимая с “верхней” астеносферой по энергетическим и геохимическим ресурсам, к тому же характеризующаяся не прерывистым, а сплошным глобальным развитием. Данные сейсмотомографии и гидродинамического моделирования [Добрецов и др., 2001] свидетельствуют о ее двойной ключевой геодинамической (геохимической, петрологической, флюидодинамической) роли. Она является местом терминального погружения слэбов, ассимилируя субдуцируемый материал верхних геосфер и вовлекая его в глобальный круговорот (часть железа и других тяжелых металлов пополняет железо-никелевое ядро, основная же часть вещества слэбов вовлекается зарождающимися на границе ядра и мантии плюмами в восходящие движения) [Планета ..., 2004].

Все больше данных свидетельствует в пользу определяющей роли плюмтектонических процессов не только в магматизме, но также в нефтидо- и рудогенезе, вплоть до связи с плюмами и их апофизами уникальных, гигантских и даже крупных месторождений. Соответствующие им особые геофизические “метки литосферы” [Булин и др., 1999] для таких месторождений, как Уренгойское (газовое), Канган, Парс, Южный Парс и др. (группа газовых гигантов на юге Ирана), Тенгиз (нефтяное), Сухой Лог (золото, платина), Мурунтау (золото) и других, имеют более глубокие плюмтектонические корни. Свойственная областям нефтегазоаккумуляции в земной коре четкая иерархичность (бассейн — ареал нефтегазоаккумуляции — гигантское месторождение — закономерная группировка небольших месторождений) с элементами самоподобия (фрактальности), несомненно, имеет глубинную плюмтектоническую природу. Она тесно связана с иерархическими сквозьформационными флюидопроводящими системами литосферы [Лукин, 2004]. С функциональной точки зрения их можно рассматривать как трубы дегазации [Кропоткин, 1986].

**Углеродородно-газовые проявления, связанные с вторичнопорowymi метасоматитами Новоконстантиновского рудного поля.** Есть основания предполагать большую геодинамическую и флюидодинамическую активность

УЩ в фанерозое, включая нео- и актуотектонический этапы. К прямым признакам эндогенной тектонотермальной активизации [Лукин, 1997] относятся:

- аномально повышенный тепловой поток и разнообразные проявления глубинной дегазации земных недр, в частности гелиевое (с повышенным содержанием изотопа  $^3\text{He}$ ) и ртутное “дыхание Земли” (термин В. И. Вернадского);
- проявления метастабильных газоконденсатных и парогазовых углеводородных систем;
- “зараженность” пород дисперсными частицами самородных металлов (в особенности таких оксифильных, как железо, алюминий, цинк, олово, хром, вольфрам и др.), а также природных сплавов, интерметаллидов, карбидов и силицидов [Новгородова, 1983; Лукин, 2006, 2009].

Указанные признаки установлены главным образом в пределах Ингульского (Кировоградского) мегаблока. По данным [Гордиенко и др., 2004] здесь выделена субмеридиональная Кировоградская зона повышенных значений теплового потока и показателя  $R$  ( $^3\text{He} / ^4\text{He} \cdot 10^8$ ), свидетельствующего о присутствии мантийного гелия в составе водорастворенных газов (рис. 2). Она совпадает с Кировоградской аномалией электропроводности, приуроченной к средней и нижней частям земной коры. Значения  $R$  в осевой части этой аномалии, соответствующие Кировоградскому глубинному разлому, достигают  $(10—20) \cdot 10^{-8}$ , существенно превышая фоновые в центральной части щита [Тарасов, 1999].

Именно в указанной зоне установлены углеводородные газоконденсатопрооявления на большом урановом месторождении в пределах Новоконстантиновского рудного поля [Лукин, Юзленко, 2011]. Контролируясь одноименной зоной разломов, оно простирается на 25 км в субмеридиональном направлении, будучи приурочено к осевой части Новоукраинского гранитоидного массива и подчиняясь его внутреннему неоднородному квазислоистому строению. Последнее обусловлено чередованием трахитоидных и гнейсовидных гранитов, диоритов, граносиенитов, ориентировка плоскопараллельных текстур которых совпадает с таковыми в ксенолитах гнейсов. Подобное строение осложняется и подчеркивается бластомилонитовыми и катаклазитовыми зонами, с которыми связаны тела вторичнопорowych ураноносных натриевых метасоматитов (рис. 3, а, б) сложного полиминерального состава (альбит, эгирин, сфен,

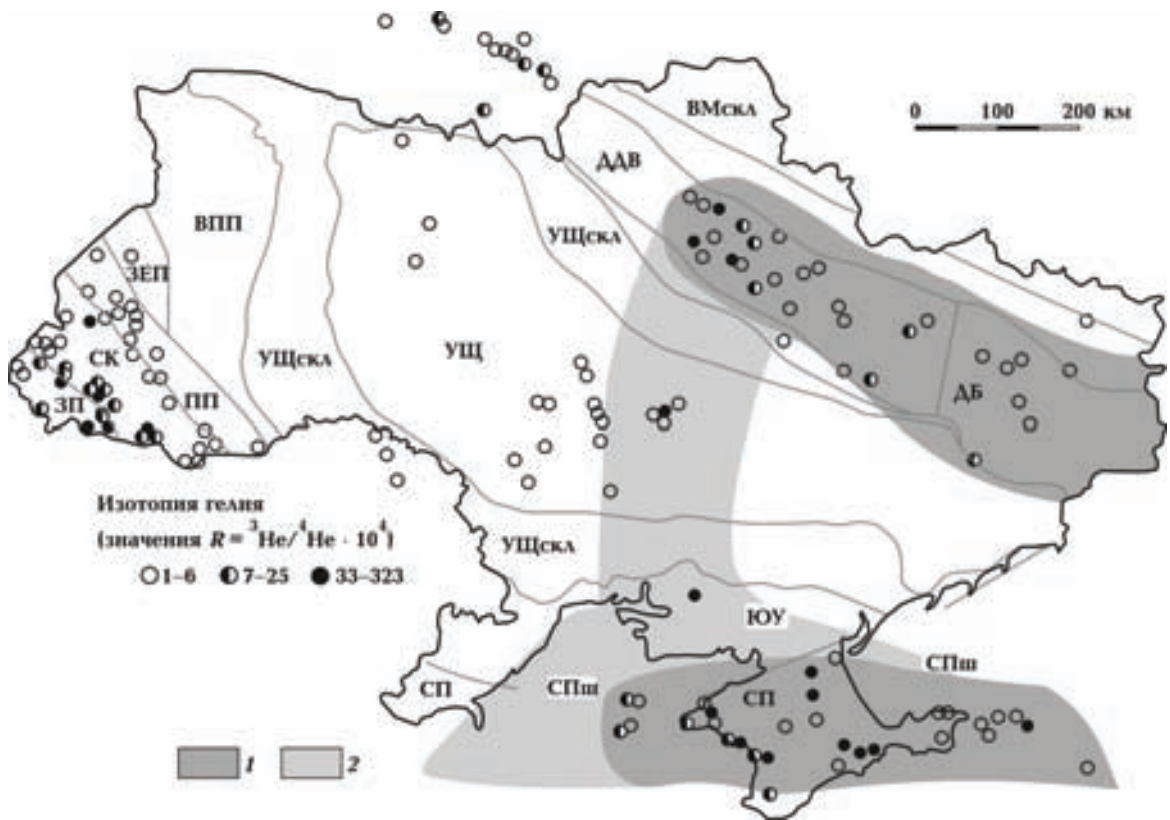


Рис. 2. Изотопный состав гелия водорастворенных газов, по [Гордиенко и др., 2004] с изменениями. Области глубинной гидрогеологической инверсии, газоконденсатных систем и залежей критического состояния (по А.Е. Лукину): 1 — установленные, 2 — предполагаемые.

хлорапатит, подоцит, монацит и другие редкоземельные фосфаты, циркон, барит, ильменит, ортит, магнетит, гематит, а также хлорит, каолинит и аморфные дисперсные фазы) (рис. 3, г). Главные минералы неравномерно распределенной первичной урановой минерализации — браннерит, настуран, коффинит. Для рудных метасоматитов-альбититов Новокопчанской зоны, субстратом которых являются новоукраинские граниты (изотопная датировка калий-аргоновым методом  $2\,000 \pm 50$  млн лет, а на основе уран-свинцовых изотопных исследований урановых минералов  $2\,014 \pm 25$  млн лет), установлен изохронный возраст  $1\,835 \pm 25$  млн лет (по ураниниту, сфену, малакону и циртолиту) [Генетические ..., 1995]. Таким образом, наложенные гипогенные процессы формирования рудоносных метасоматитов представляют собой дорифейские образования, хотя они моложе, по крайней мере, на 200 млн лет, чем субстрат. Наряду с этим, в пределах Новокопчанского рудного поля установлены проявления недавних гипогенно-аллоге-

нетических процессов, индикаторами которых являются частицы самородных оксифильных металлов (см. ниже).

При проведении горных работ здесь неоднократно фиксировались газопроявления, визуально (в виде "тумана") наблюдался газоконденсат с характерным запахом, что позволяет предполагать разгрузку углеводородных систем (залежей?) (за) критического состояния. Они широко распространены на глубине 4—6 км в центральной части Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) [Лукин, 1997]. Поэтому связь этого уникального по фазово-геохимическим особенностям ареала интенсивного углеводородного газоконденсатонакопления с Кировоградской комплексной аномалией (см. рис. 2) заслуживает особого внимания. Газопроявления сопровождалась самовозгоранием метана. В частности, при проходке опережающей технической горизонтальной скважины, бурившейся с целью оценки водоносности разломной зоны тектонического дробления, был зафиксирован приток минерализованной воды (дебитом  $1,8\text{ м}^3/\text{ч}$ ).

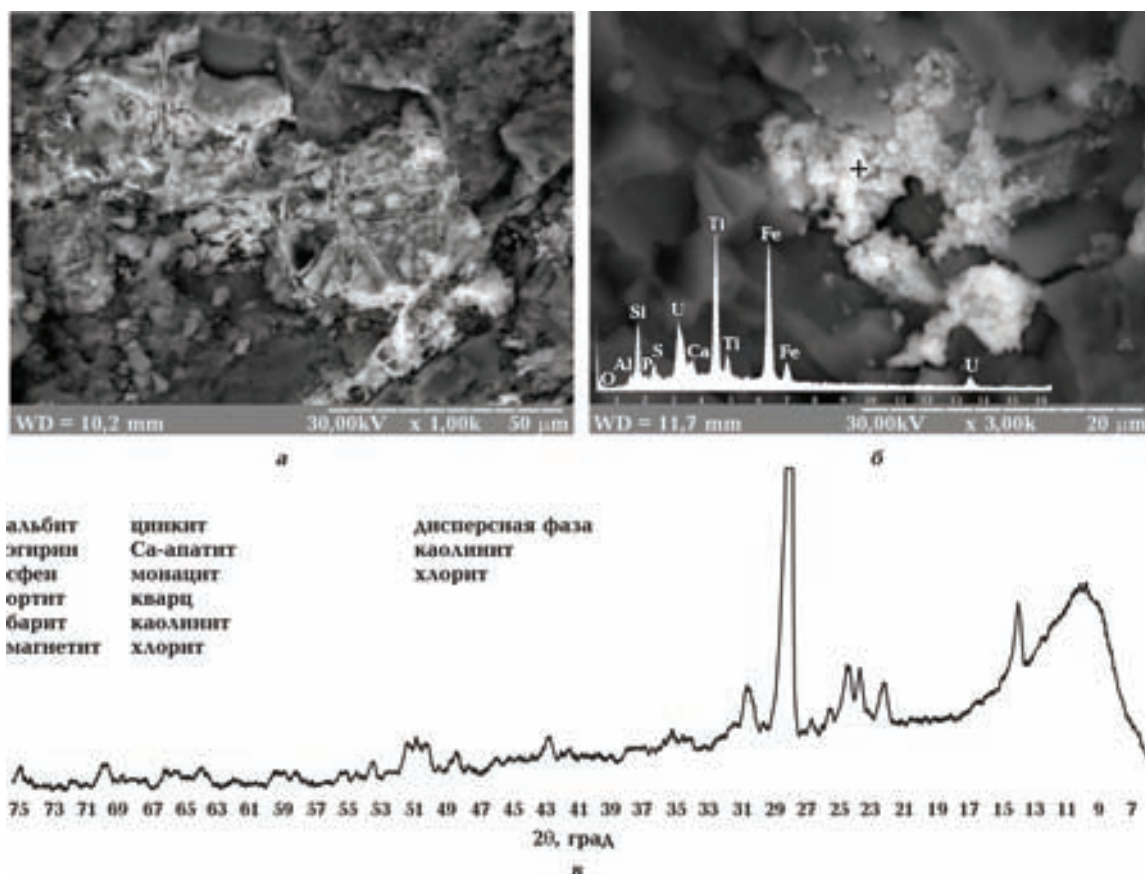


Рис. 3. Структура (а), характер урановой минерализации (б) и типичная дифрактограмма (в) ураноносных Na-метасоматитов Новокопчанской рудной зоны (а, б — электронный микроскоп РЭМ-106 с рентгеноспектральным анализатором, ЧО УкрГГРИ; в — ДРОН-3, Cu-антикатоде, Ni-фильтр, ЧО УкрГГРИ) (по А. Е. Лукину).

При этом наряду с водой наблюдалось струйное выделение горячего газа. Отобранные пробы, хотя и были сильно контаминированы воздухом вследствие технических сложностей отбора, содержали до 10 % метана. Разумеется, для того чтобы судить о составе газа и источнике углеводородов, необходимы дальнейшие более детальные и целенаправленные исследования. Однако уже сейчас, исходя из геологических условий газопроявлений, можно предположить его глубинный генезис. Косвенным подтверждением этого является присутствие в рудоносных метасоматитах частиц самородных металлов (Pb, Sn, Zn, Cu, Fe, Ni) и их природных сплавов. Особого внимания заслуживает присутствие природной латуни (рис. 4, а—в) — типоморфного минерала вторичных коллекторов-метасоматитов на месторождениях (Белый Тигр (Южно-Китайское море), Юльевка (ДДВ) и др.) с нефтяными и газоконденсатными залежами в разуплотненных породах кристаллического фунда-

мента нефтегазоносных бассейнов — верхней кромки аккреционного гранитного слоя литосферы [Вертикальная ..., 2002; Лукин, 2006, 2009]. Большое количество (свыше 20) минеральных фаз является характерной особенностью вторичных коллекторов нефти и газа, образованных в результате гипогенного метасоматоза на различном породном субстрате, включая кварцитопесчаники глубокозалегающих нижнекаменноугольных комплексов (Перевозовское, Рудовское, Свиридовское и другие газоконденсатные месторождения), карбонатные породы нижней перми (Леяковское нефтяное месторождение), кристаллические породы докембрийского фундамента ДДВ (Юльевское, Скворцовское и другие месторождения), нижнеюрские обломочные породы Среднеширотного Приобья (Талинское нефтяное месторождение), песчано-алевро-глинистые флишоиды майкопской серии (нефтяное месторождение Субботина на Прикерченском шельфе), среднекарбонные ри-

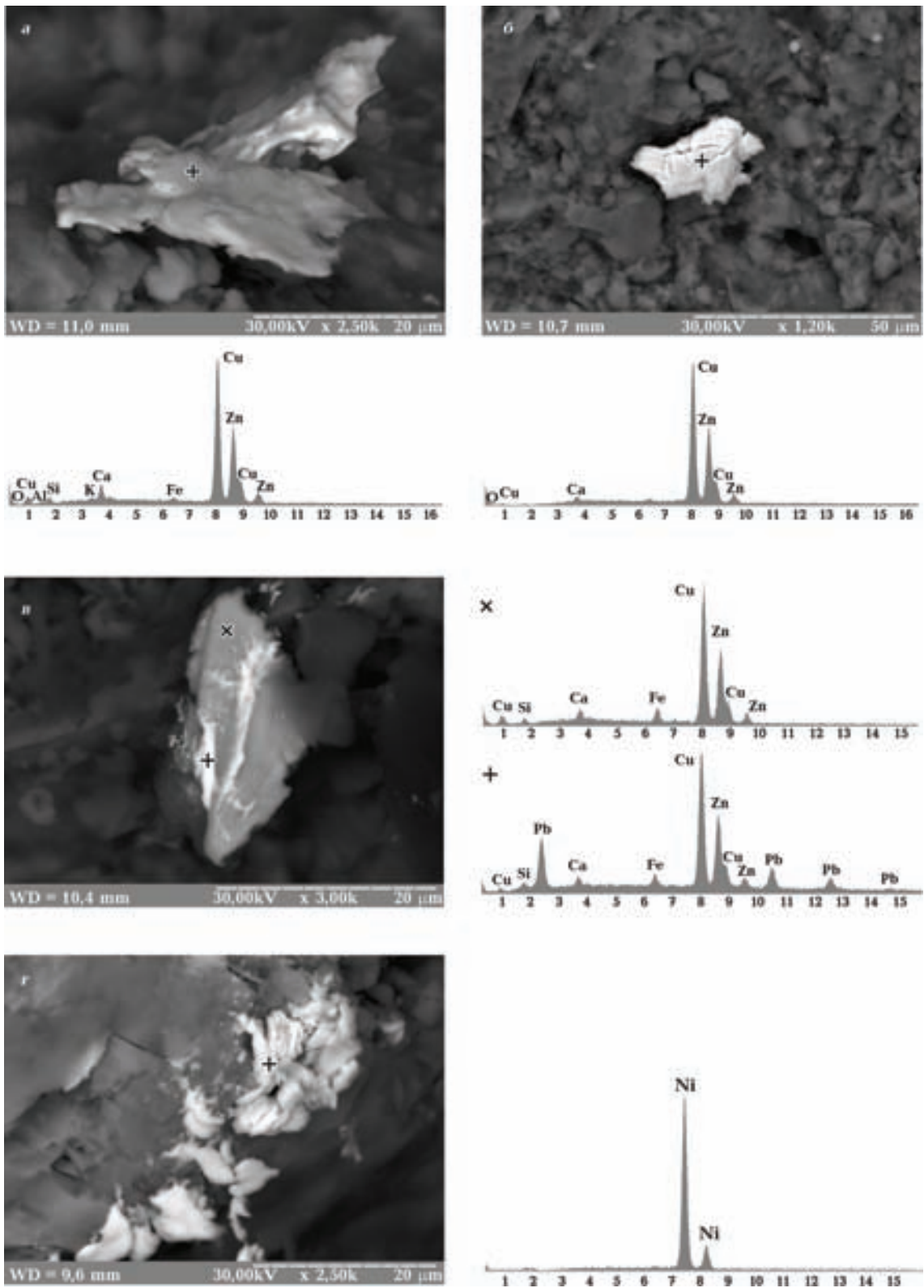


Рис. 4. Самородные металлы в докембрийских ураноносных Na-метасоматитах НовоCONSTАНТИНОВСКОГО рудного поля: *а* — агрегат частиц латуни, *б* — латунь с микротрещинками охлаждения, *в* — агрегат латуни и самородного цинка, *г* — самородный никель (по А.Е. Лукину).

фогенные известняки (Астраханское газоконденсатное месторождение), рифейские доломиты (Куюмбинское месторождение Восточной Сибири) и др. [Лукин, 2009]. Более того, все изученные в этом отношении вторичные коллекторы нефти и газа, независимо от возраста и литологии исходного субстрата, характеризуются наличием общих минеральных индикаторов гипогенного метасоматоза, включая барит, апатит, редкоземельные фосфаты (монацит, ксенотим и др.), сфен, циркон и разнообразные самородные металлы (интерметаллиды, природные сплавы) [Лукин, 2009].

Присутствие в рудоносных метасоматитах НовоCONSTANTINOVSKOGO рудного поля частиц самородных металлов, включая оксифильные, в частности цинк (рис. 4, в), свидетельствует о восходящих потоках суперглубинных высокоэнтальпийных сухих водородно-метановых флюидов. В этом отношении особенно показательным является присутствие самородного никеля (рис. 4, г).

Работы по дистанционному оконтуриванию рудных тел на основе геогеографического комплекса "Поиск" (Севастопольский Национальный университет ядерной энергии, 2008 г.) позволили установить под рудными телами на глубине 2300—2550 м аномалии, предположительно связанные с крупными газовыми и газоконденсатными скоплениями. Хотя сущность самой методики севаСТОПОЛЬСКИХ исследователей (специалистов по ядерной физике и приборостроению) авторам неизвестна, заслуживают внимания их данные о значительных объемах подрудных газоконденсатных скоплений (площадь ~ 1,56 км<sup>2</sup>; продуктивный интервал ~ 250 м). Особый же интерес представляет заключение о высоких (около 500 атм.) пластовых давлениях.

По рекомендации А. Е. Лукина в сентябре 2009 г. на соответствующем участке НовоCONSTANTINOVSKOY рудной зоны были проведены также наземные геоэлектрические исследования, методика и результаты которых изложены в статье [Левашов и др., 2010]. Они подтвердили наличие аномалий типа "залежь УВ". Что касается моделей залежей в разрезе геоэлектрической аномалийной зоны (рис. 5), то они относятся, по-видимому, к ореолу вторжения высоконапорных флюидов по зонам катаклаза и повышенной трещиноватости. Здесь следует отметить, что сами рудоносные метасоматиты обладают неравномерно распределенной матричной вторичной пористостью, кавернозностью и трещиноватостью. Поэтому наряду с тонкими пластовыми залежами [Лева-

шов и др., 2010] здесь могут быть совсем другие формы скоплений (штокверковые, неравномерно-гнездообразные и т. п.). Основные же скопления углеводородов, по-видимому, находятся глубже. Более того, учитывая данные глубинного сейсмического и магнитотеллурического зондирования [Трипольский, Шаров, 2004; Николаев и др., 2013], а также зараженность метасоматитов самородно-металлическими частицами и другие показатели восходящей миграции (супер) глубинных флюидов, можно предположить, что и результаты дистанционных исследований севаСТОПОЛЬСКИХ специалистов тоже относятся к ореолу вторжения расположенных над более глубокими (3—5 км и глубже) и гораздо более крупными скоплениями углеводородов. Последние скорее всего формируются вследствие недавних и современных процессов взаимодействия восходящих (супер) глубинных флюидов с породами. В свете современных данных о строении литосферы УЩ и наличия здесь мощных зон разуплотнения в широком диапазоне глубин (рис. 10, см. с. 19) это предположение приобретает особое значение.

Тектономагматические процессы на УЩ рассматриваются достаточно подробно в контексте мантийного диапиризма и проявления на его фоне рудных месторождений [Оровецкий, 1990; Богатиков и др., 2010; Геолого-геофизические ..., 2011; Казанский и др., 2012]. Как правило, эти процессы рассматриваются на уровне не глубже 250 км и при этом остается нерешенным вопрос о возможной связи верхнемантийных процессов с процессами в средней и нижней мантии. Подход к решению этого вопроса возможен при рассмотрении скоростного строения мантии в целом. Предметом рассмотрения является Ингульский мегаблок УЩ.

**Скоростное строение коры и мантии Ингульского мегаблока УЩ.** Прежде чем перейти к анализу скоростного строения коры и мантии под Ингульским мегаблоком УЩ, следует отметить, что результатом решения задачи сейсмической томографии является модель, оптимальная в пределах принятых физико-математических представлений. Последние включают: аксиоматику, теорию метода, принятую параметризацию среды, численные методы решения задачи, аппроксимирующие методы, графические методы и т. д. Результаты томографии отражают скоростное строение мантии на современном этапе.

Скоростное строение мантии под Украиной рассмотрено в контексте 3D *P*-скоростной мо-



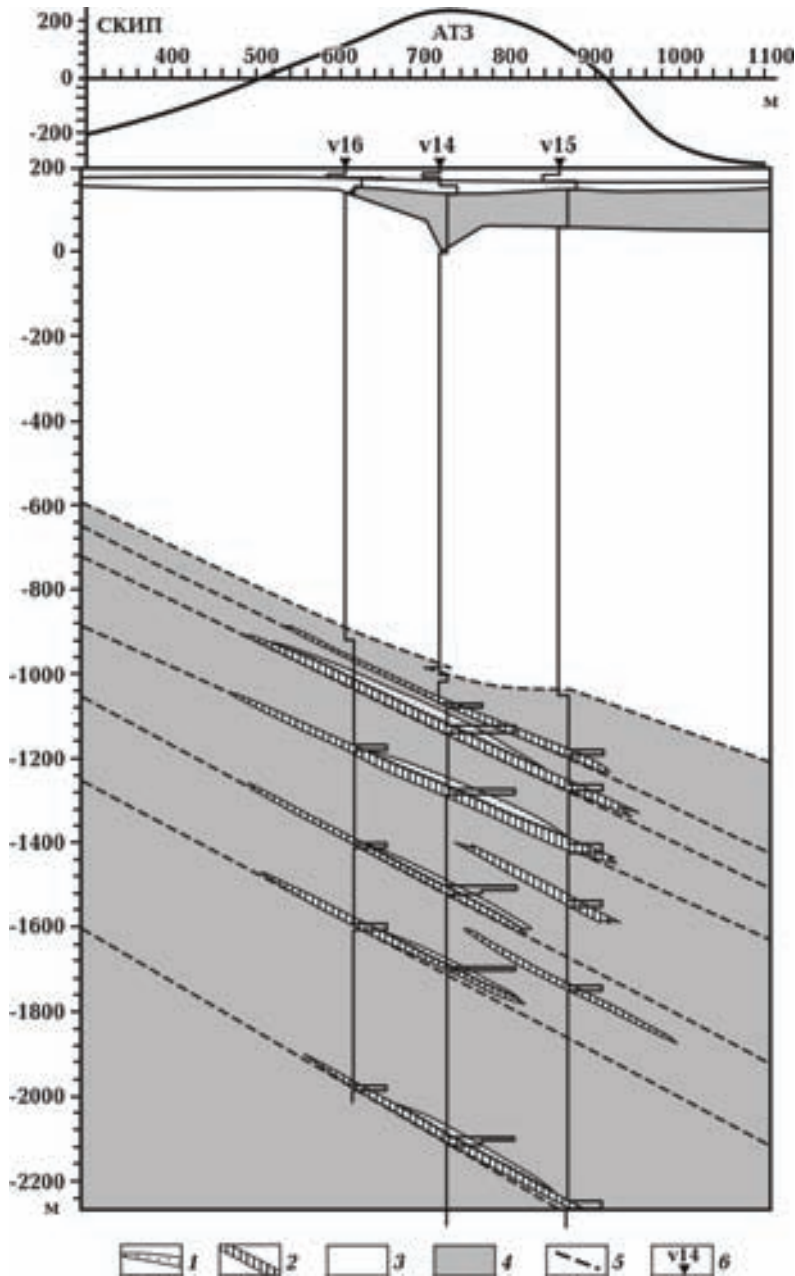


Рис. 5. Вертикальный разрез геоэлектрической аномальной зоны типа "залежь", по [Левашов и др., 2010]: 1, 2 — аномально поляризованный пласт (1 — типа "газ", 2 — типа "конденсат"), 3 — граниты, 4 — Na-метасоматиты, 5 — зоны дробления, 6 — пункты вертикального электрорезонансного зондирования.

дели мантии под Евразией, полученной методом тейлорового приближения, общие положения которого можно найти в работе [Геуко, 2004]. Решение не зависит от выбора одномерной референтной модели и может быть представлено как в сферической, так и в декартовой системе координат. В качестве исходных данных использованы времена первых вступ-

лений  $P$ -волн, представленные в бюллетенях ISC за 1963—2006 гг. Карта-схема событий и станций представлена в работе [Гейко и др., 2006]. Это позволило осветить мантию в интересующем нас регионе на глубину 2 500 км до  $50^\circ$  с. ш., до 1 700 км в интервале  $51\text{—}60^\circ$  с. ш. Разрешающая способность метода —  $0,5^\circ \times 0,5^\circ \times h$  км до 1 000 км и  $1^\circ \times 1^\circ \times h$  км после 1 000 км.

Результаты представлены в виде горизонтальных, широтных и меридиональных сечений. Горизонтальные сечения представлены в "истинных" скоростях. Долготные и широтные сечения представлены в виде невязок "истинных" скоростей  $V_{\text{ист.}}$  относительно обобщенной средней скорости  $V_{\text{aver}}$  для мантии под территорией Евразии и ее окружением:

$$\delta = V_{\text{ист.}} - V_{\text{aver}}$$

Отсюда изолинии невязок, соответствующие условию  $\delta < 0$ , определяют пониженные относительно обобщенной средней скорости невязки, отвечающие условию  $\delta > 0$  — повышенные невязки. Обобщенная средняя скорость выполняет роль референтной модели при графическом представлении результатов. Более детально это рассмотрено в работах [Geuko, 2004; Цветкова и др., 2009].

Границам между верхней мантией и слоем Голицына—Гейко (скоростной характеристике переходной зоны), а затем между ним и зоной раздела 1 соответствует нулевая невязка. Учитывая отсутствие 3D  $P$ -скоростной модели коры и использование как исходных данных времен первых вступлений  $P$ -волн, представленных в бюллетенях ISC, скоростные характеристики коры введены согласно модели Джеффриса—Буллена. Все рассмотрения скоростного строения мантии проводятся в соответствии с химико-минералогической моделью мантии Земли, предложенной в работах [Пушаровский, 1998; Пушаровский, Пушаровский, 2010].

Скоростное строение верхней мантии Украины и ее переходной зоны опубликовано в работах [Гейко и др, 2005, 2006; Шумлянская, 2008]. Скоростное строение мантии под Ингульским

мегаблоком УЩ и его окружением представлено на рис. 6 (широтные сечения 44—46° и 47—49° с. ш.) и на рис. 7 (долготные сечения 30—33° в. д.). Результаты по долготным, широтным и горизонтальным сечениям согласованы между собой. В работе используется модель Пушаровских (таблица).

При этом одно из основных свойств скоростного строения мантии Земли, следующего из решения задачи сейсмической томографии [Poe et al., 1990], состоит в инверсности скоростных слоев. Следует отметить, что средняя и нижняя мантия квазиоднородны и, несмотря на это, могут содержать значительные аномальные области. Введем понятие неустановившейся мантии как мантии, для которой не выполняется хотя бы одно из условий модели Ю. М. Пушаровского.

**Нижняя мантия, зона раздела 2, средняя мантия, зона раздела 1.** Основное свойство скоростного строения средней и нижней мантии под Ингульским мегаблоком УЩ — преемственность процессов, отраженных в скоростных характеристиках средней и нижней мантии под его окружением (УЩ и Черным морем) (см. рис. 6).

Особенностью скоростного строения нижней мантии под Ингульским мегаблоком являются участки поднятия кровли нижней мантии. Последние могут быть предвестниками возникновения плюмовых процессов [Добрецов и др., 2001]. Такие участки определены на широтных сечениях 47—48° с. ш. в районе  $30 \pm 2^\circ$  в. д. Согласно сечениям 44—46° с. ш. (рис. 6, а), они связаны с низкоскоростной аномалией (возможным нижнемантийным плюмом), распространяющейся из нижней мантии в среднюю, ко-

Геосферы	Глубина залегания, км	Скоростная характеристика стабильной мантии ( $\delta = V_{\text{ист.}} - V_{\text{ref}}$ относительно референтной модели)	Скоростная характеристика активизированной мантии ( $\delta = V_{\text{ист.}} - V_{\text{ref}}$ относительно референтной модели)
Верхняя мантия	410	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )
Переходная зона верхней мантии	410—650	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )
Зона раздела 1	650—850	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )
Средняя мантия	850—1 700	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )
Зона раздела 2	1 700—2 200	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )
Нижняя мантия	2 200—2 900	Низкие скорости ( $\delta < 0$ )	Высокие скорости ( $\delta > 0$ )

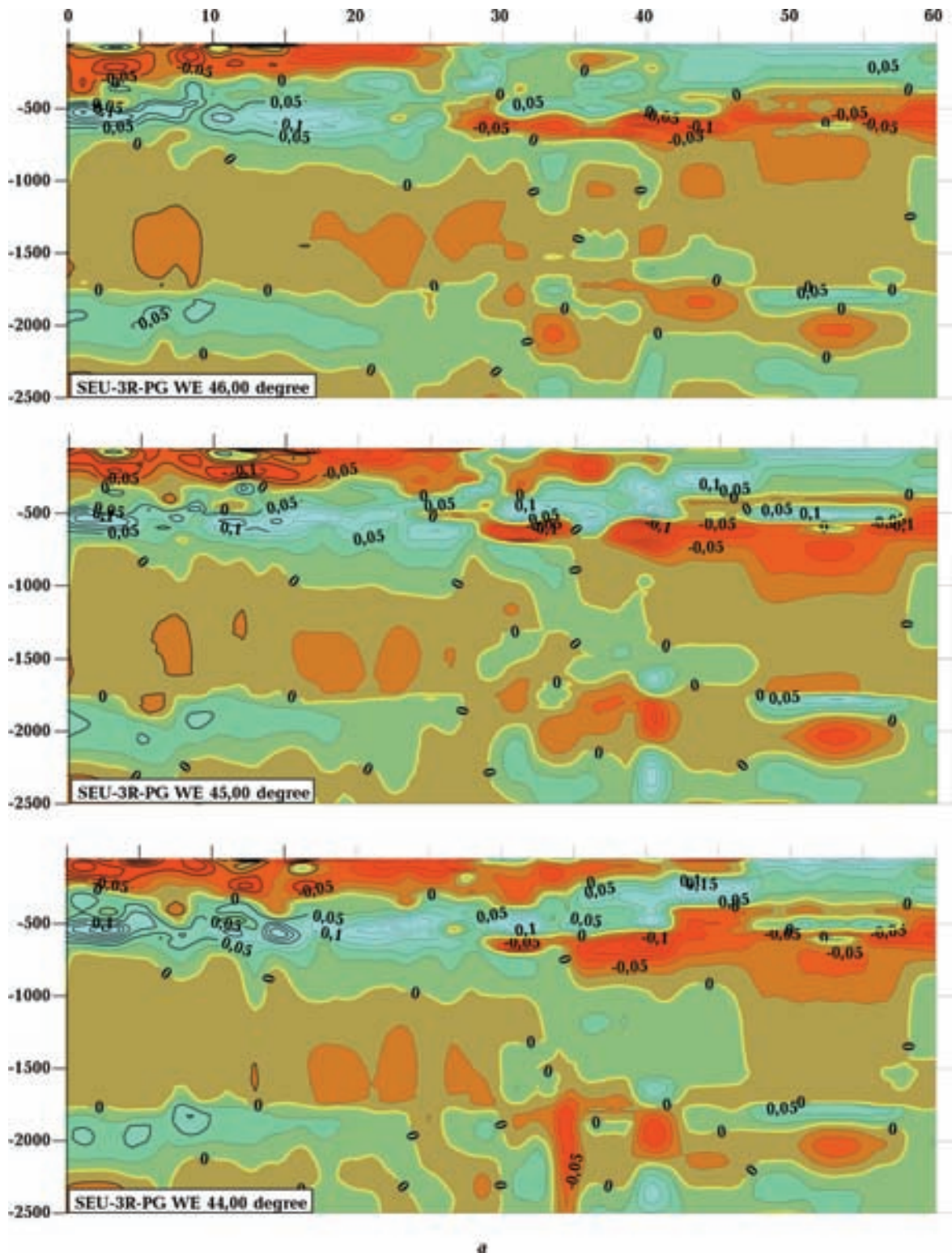


Рис. 6. Широтные сечения трехмерной  $P$ -скоростной модели мантии:  $a$  —  $44 \div 46^\circ$  с. ш.,  $b$  —  $47 \div 49^\circ$  с. ш. (красным цветом показаны низкие скорости, синим — высокие, желтым — нулевая изолиния).

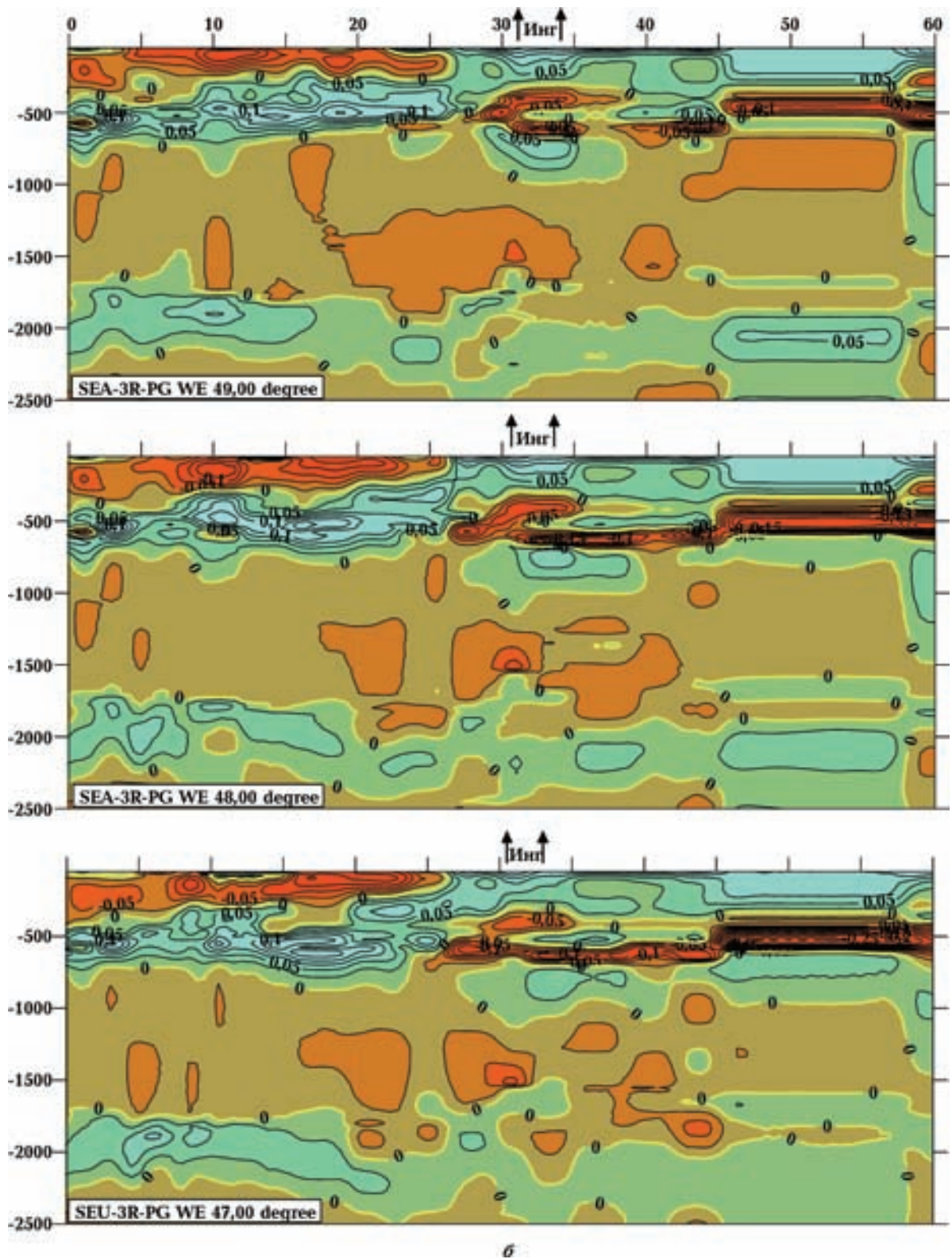


Рис. 6 (окончание).

торая определяется в области  $30^\circ$  в. д., в указанных широтных сечениях. В сечениях 47—49° с. ш. (рис. 6, б) мантии под Ингульским ме-

габлом, соответственно указанному поднятию, выделяется выступ вверх участка высокоскоростной зоны раздела 2, имеющий вос-

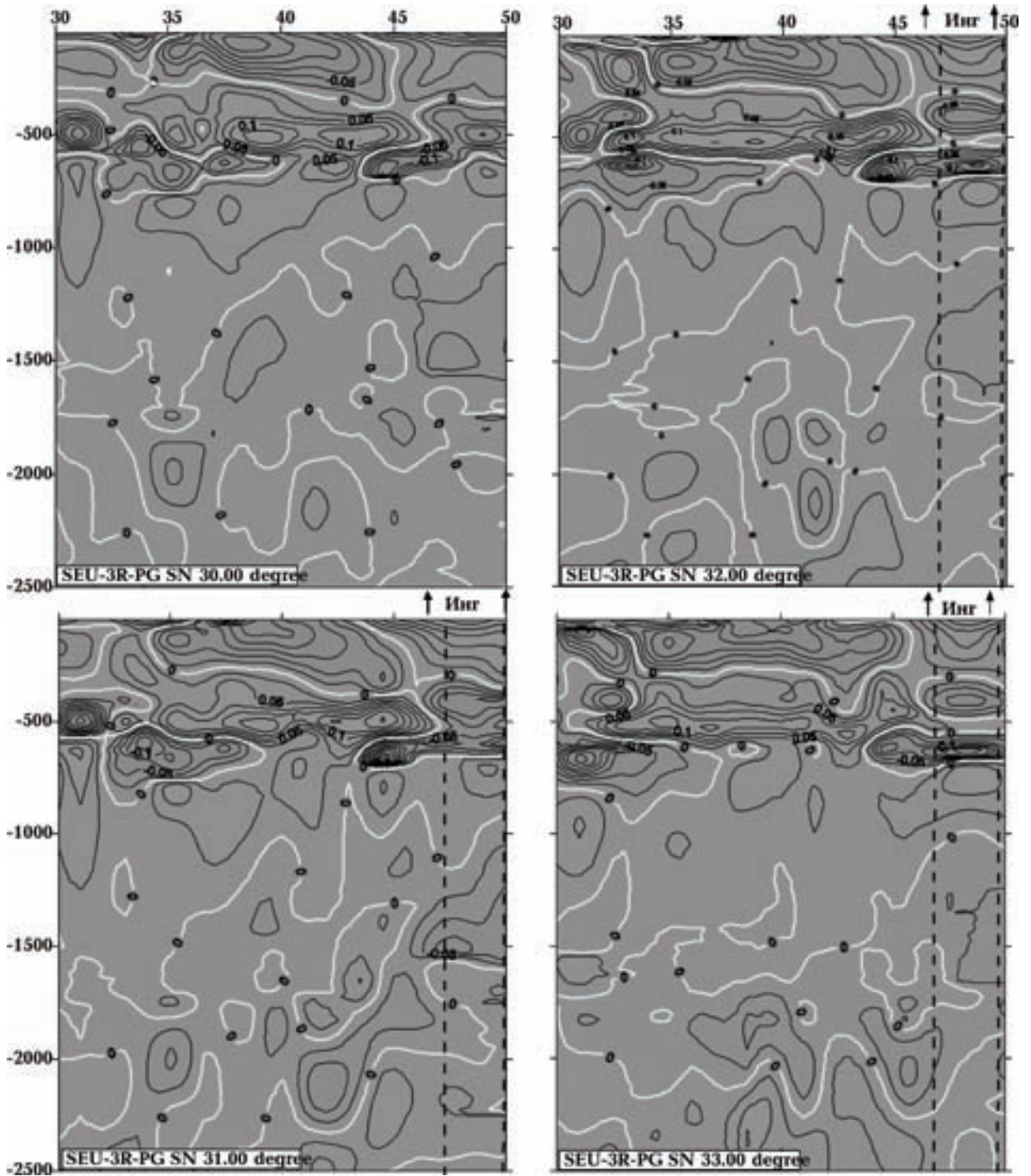


Рис. 7. Долготные сечения трехмерной  $P$ -скоростной модели мантии  $30\text{--}33^\circ$  в. д. (пунктирная линия — границы мантийной колонки).

точный уклон в сторону  $35^\circ$  в. д. до глубины 1 500 км. В указанном интервале сечений в средней мантии определены чередующиеся аномалии повышенных и пониженных скоростей, которые представляют субвертикальную мантийную колонку (см. рис. 6, б, 7). Отсюда можно

предположить преимущество процессов активизации в средней и нижней мантии под Черным морем и Ингульским мегаблоком УЩ.

Высокоскоростная зона раздела 1 под УЩ, согласно долготным сечениям (см. рис. 7), связана с высокоскоростным наклонным слоем

средней мантии под Черным морем. Его распространение наблюдается в пределах исследуемой территории с севера на юг (от мантии под Припятской впадиной до мантии под кряжем Карпинского включительно). На рис. 6, б широтные сечения показывают, что зона раздела 1 (как высокоскоростная область) выделяется в мантии под всем УЩ. Для мантии под Ингульским мегаблоком подошва зоны раздела 1 не выдержана по глубине залегания и определяется до глубины 1 130 км для сечения  $47^\circ$  с. ш., до 1 150 км — для сечения  $48^\circ$  с. ш., 1 000 км — для сечения  $49^\circ$  с. ш.

По долготным сечениям (см. рис. 7) подошва зоны раздела 1 мантии под Ингульским мегаблоком также различается по глубине, достигая максимальной глубины залегания 1 150 км для сечения  $31^\circ$  в. д. В сечении  $30^\circ$  в. д. зона раздела 1 относится к высокоскоростной наклонной области средней мантии под Черным морем, распространяющейся на юг. Сечения  $31$ — $32^\circ$  в. д. показывают, что зона раздела 1 характеризуется повышенной мощностью (до 500 км), в южной части граничит с высокоскоростной наклонной областью средней мантии под Черным морем и связана с последней. В сечениях  $33$ — $34^\circ$  в. д. высокоскоростная зона раздела 1 относится к наклонной высокоскоростной области средней мантии под Черным морем. Отсюда зона раздела 1 в мантии под Ингульским мегаблоком делится на две части — восточную и западную по  $32^\circ$  в. д.

Таким образом, средняя мантия под Ингульским мегаблоком УЩ расслоена: на глубине от 675 до 1 000—1 150 км определена как высокоскоростная зона раздела 1; от 1 000—1 150 до 1 550—1 700 км — как низкоскоростной слой средней мантии; от 1 550—1 700 до 1 750 км — как высокоскоростной выступ зоны раздела 2; от 1 750 до 1 950—2 000 км — как низкоскоростной слой средней мантии. Зона раздела 2 этой области — высокоскоростная на глубине от 1 950—2 000 до 2 300—2 500 км. Нижняя мантия низкоскоростная. Следует отметить квазиоднородность зоны раздела 2 по скоростным характеристикам и в то же время значительное количество скоростных включений, в целом создающих достаточно неоднородную структуру (см. рис. 6, б). Мощность зоны раздела 1 завышена по отношению к модели Пущаровских: до 500 км в сечениях  $47$ — $49^\circ$  с. ш. (рис. 6, б) на фоне 200 км для модели Пущаровских. В указанном интервале сечений в средней мантии выделяются чередующиеся аномалии повышенных и пониженных скоростей, которые пред-

ставляют субвертикальную мантийную колонку (см. рис. 7).

Подводя итог рассмотрению скоростных структур, представляющих нижнюю и среднюю мантию, зону раздела 1 и 2, следует отметить, что в настоящий момент нижняя и средняя мантия относится к неустановившемуся типу. Процессы активизации проявляются в выступах вверх кровли нижней мантии в районе  $30 \pm 2^\circ$  в. д., повышенной расслоенности средней мантии, участии зоны раздела 1 в формировании высокоскоростных наклонных слоев средней мантии под Черным морем, разделе зоны раздела 1 по  $32^\circ$  в. д., следах прохождения сверхглубинных флюидов в мантии под Ингульским мегаблоком.

**Верхняя мантия и слой Голицына—Гейко (СГГ).** Высокоскоростной слой верхней мантии под Ингульским мегаблоком слабо изменяет свою мощность (см. рис. 6, б, 7). Под центром мегаблока мощность составляет 300 км с увеличением до 350 км под Голованевской шовной зоной. Скоростные характеристики данного слоя являются одними из самых высоких для слоя сейсмической литосферы УЩ. По изменению скоростного градиента изолиний невязок в сейсмической литосфере выделяется раздел мантии Ингульского мегаблока. Он проявляется на глубинах: 50—125 км для сечения  $47^\circ$  с. ш., 50—225 км для сечения  $48^\circ$  с. ш., 50—200 км для сечения  $49^\circ$  с. ш. с наклоном по глубине на  $31$ — $32^\circ$  в. д. На земной поверхности окончание указанного раздела соответствует трансрегиональному тектоническому шву Херсон—Смоленск.

По широтным сечениям низкоскоростной слой СГГ верхней мантии под Ингульским мегаблоком состоит из трех частей (см. рис. 7). Верхняя часть, низкоскоростная, находится на глубине 300—500 км, максимальное значение невязок — 0,075 км/с. На глубине 500—550 км находится высокоскоростной слой (значение невязки 0,00—0,025 км/с). Для широтного сечения  $47^\circ$  с. ш. он определяется, начиная с  $31^\circ$  в. д., для сечений  $48$  и  $49^\circ$  с. ш., начиная с  $32^\circ$  в. д., соответствуя трансрегиональному тектоническому шву Херсон—Смоленск. Самая нижняя часть слоя расположена на глубине 650—675 км и характеризуется наименьшими значениями скорости (минимальная невязка — 0,15 км/с).

Такая глубина залегания подошвы слоя СГГ соответствует глубине переходной зоны геодинамической модели (650—675 км по различным определениям).

Долготные сечения (см. рис. 7) показывают



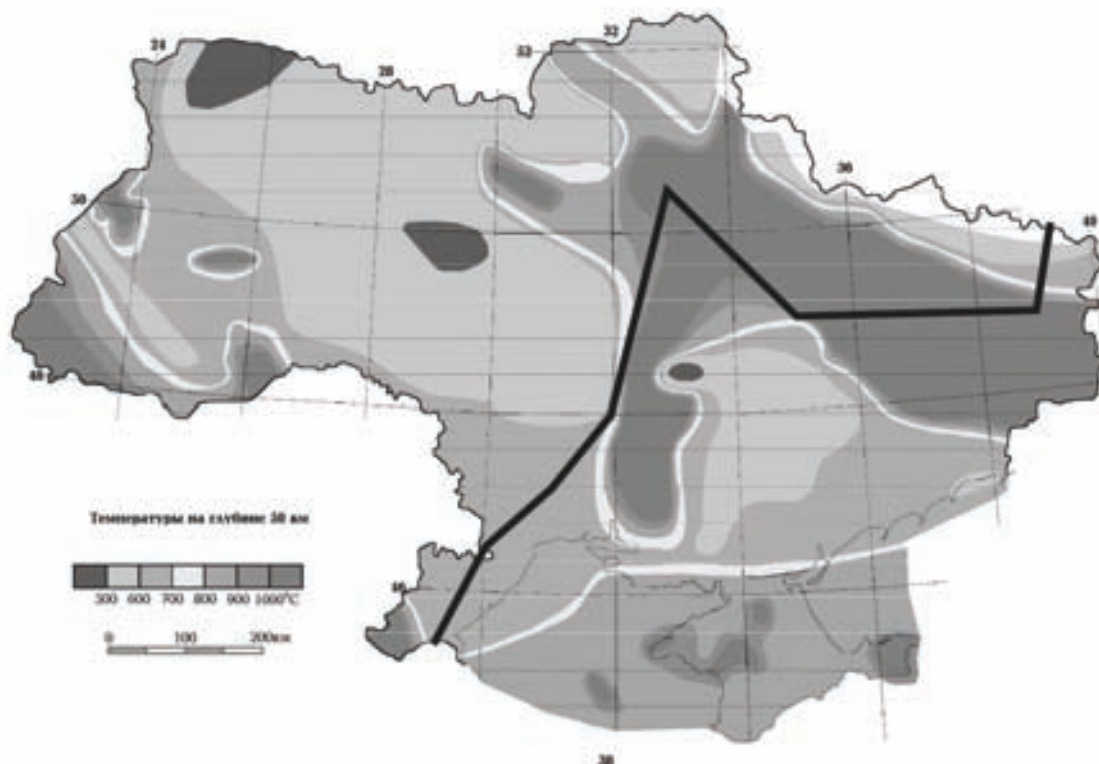


Рис. 9. Связь распространения скоростной границы внедрений высокоскоростного слоя СГГ окружения УЩ и температурной аномалии, по [Гордиенко и др., 2004] с изменениями.

Ингульским мегаблоком намечается под Голованевской шовной зоной, далее проходит в северо-восточном направлении, пересекая мантию под тектоническим швом Херсон—Смоленск на  $48^\circ$  с. ш. На севере "внедрение" проходит под границей с ДДВ. Следует отметить, что выделенная граница в пределах мантии под УЩ и его окружением соответствует распространению высокотемпературных аномалий на глубине 50—75 км (рис. 9) в этих же пределах [Гордиенко и др., 2004].

Таким образом, мантийная область под Ингульским мегаблоком включает высокоскоростной слой верхней мантии мощностью 300 км, выпуклый вверх по отношению к мантии под окаймляющими шовными зонами, низкоскоростной слой СГГ верхней мантии, состоящий из трех частей — верхней и нижней низкоскоростных и высокоскоростной средней части. Как отмечалось выше, согласно скоростной характеристике как долготных, так и широтных сечений, продолжается раздел мантии под Ингульским мегаблоком в верхней мантии и переходной зоне по  $32^\circ$  в. д.

В то же время следует отметить, что повышенная расслоенность слоя СГГ мантии под Ин-

гульским мегаблоком подтверждает неустановившийся тип мантии.

Анализ скоростных характеристик СГГ и зоны раздела 1 позволяет выделить скоростную мантийную колонку, определяющуюся более низкоскоростными аномалиями в первом и третьем слое СГГ и высокоскоростной аномалией зоны раздела 1 (см. рис. 6, б, сечения 48,  $49^\circ$  с. ш.). Чередующиеся скоростные аномалии повышенных и пониженных скоростей зоны раздела 1 и слоя СГГ могут быть рассмотрены как продолжение скоростной колонки, выделяющейся в средней и нижней мантии. По широтным сечениям мантийная скоростная колонка в пределах средней мантии, зоны раздела 2 и нижней мантии не столь ярко выражена.

Субвертикальная мантийная колонка Ингульского мегаблока сильнее проявляется в долготных сечениях  $30$ — $32^\circ$  в. д. (см. рис. 7), в особенности ее верхняя часть, соотносящаяся с зоной раздела 1 и СГГ.

Скоростные аномалии выделенной мантийной колонки могут определять следы прохождения сверхглубинного мантийного флюида в нижней, средней и верхней мантии, что находит отражение и в скоростных характеристиках коры.



**Скоростная характеристика коры Ингульского мегаблока УЦ.** Глубинное строение коры Ингульского блока достаточно хорошо изучено различными геофизическими методами. Библиография по этой тематике обширна. Мы приводим только некоторые работы [Литосфера ..., 1993; Старостенко и др., 2002; Трипольский, Шаров, 2004; Куприенко и др., 2007]. Тектоническая схема УЦ со схемой расположения профилей ГСЗ представлена на рис. 1.

Согласно работе [Чекунов и др., 1986], по характеру распределения скоростей земная кора разделена на три этажа — верхний, средний и нижний. Верхний этаж имеет мощность от 5 до 8 км и характеризуется монотонно возрастающей скоростью. Нижней границей среднего этажа на глубине 11—16 км служит граница  $K_2$ . При переходе к среднему этажу наблюдается уменьшение градиента скорости. Средний этаж характеризуется сложным изменением скорости с глубиной, вследствие чего регулярные волны в нем не возникают. Наиболее мощным является нижний этаж, заключенный между границами  $K_2$  и  $M$ , с большим диапазоном изменения скоростей. Глубина залегания границы  $M$  изменяется в пределах 35—46 км. Таким образом, в верхнем и нижнем эта-

жах скорости возрастают с глубиной, а в среднем этаже отмечаются скоростные инверсии (волновод). В то же время в коре Ингульского мегаблока выделяется область повышенной расслоенности в интервале 5—20 км. Нарушение залегания поверхности  $M$  в районе Кировоградского глубинного разлома сопровождается аномально большой расслоенностью нижней части земной коры. В целом, согласно работе [Трипольский и др., 1984], кора Ингульского мегаблока по свойствам расслоенности (рис. 10) характеризуется следующим образом:

- 1) по характеру расслоенности Ингульского мегаблока выделяется интервал глубин 5—20 км с повышенной расслоенностью земной коры, которая достигает аномальных значений в районе Кировоградского глубинного разлома;
- 2) в районе глубинных разломов нарушенному залеганию поверхности  $M$  со значительным ее смещением по вертикали соответствует повышенная расслоенность земной коры;
- 3) сгущение отражающих элементов в интервале глубин 5—15 и 30—45 км может быть связано с наличием здесь зон повышенной трещиноватости.

Указанные выше свойства согласуются плот-

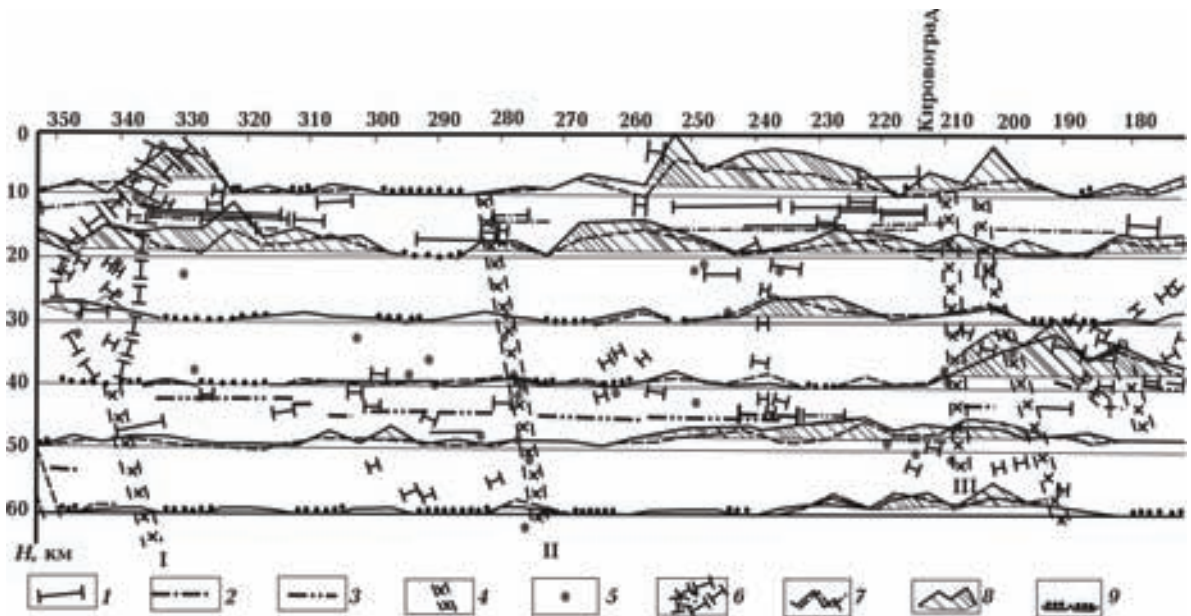


Рис. 10. Геотраверс IV, по [Трипольский и др., 1984]: 1 — отражающие элементы в толще земной коры и верхней мантии, 2 — поверхности  $K_2$ , 3 — поверхность  $M$ , 4 — глубинные разломы по данным ГСЗ (I — Тальновско-Мироновский, II — Звенигородско-Анновская зона разломов, III — Кировоградский), 5 — точки дифракции, 6 — аномальная зона земной коры с большим числом крутонаклонных отражающих элементов и точек дифракции, 7 — графики сейсмической расслоенности, характеризующие суммарную длину осей синфазности (а) и общее количество осей синфазности (б) в элементе разреза размером  $5 \times 10 \text{ км}^2$ , 8 — участки повышенной сейсмической расслоенности, 9 — участки пониженной сейсмической расслоенности.

ностной [Куприенко и др., 2007] и геоэлектрической [Николаев и др., 2013] моделями Ингульского мегаблока. Трехмерная геоэлектрическая модель Ингульского мегаблока показывает соответствие между зонами повышенной расчлененности коры и зонами повышенной геоэлектрической проводимости.

В работе [Чекунов и др., 1986] в свете результатов по Кольской сверхглубокой скважине было высказано объяснение природы волновода и границы  $K_2$  с позиций хрупкодилатансионного состояния горных пород под нагрузкой.

В дальнейшем в работе [Дмитриевский, 2009] была показана роль коровых волноводов как фильтрующих систем в механизмах образования углеводородов с учетом процессов дилатансии и компакци.

Совокупность приведенных скоростных характеристик — скоростная трехэтажность коры, присутствие волновода, повышенный тепловой поток, повышенная расчлененность коры в слое 5—20 км, аномально повышенная расчлененность коры в районе Кировоградского глубинного разлома, соответствие зон расчлененности зонам повышенной геоэлектрической проводимости — указывает на проявление глубинных флюидных процессов в коре Ингульского мегаблока.

Исходя из представленных особенностей строения коры и мантии Ингульского мегаблока, следует отметить следующие особенности.

1. В мантии под Ингульским мегаблоком УЩ выделяется скоростная мантийная колонка как возможный след прохождения сверхглубинного мантийного флюида (см. рис. 6, б, 7), что связывается с активизацией нижней и средней мантии.

2. Распространение высокоскоростного СГГ (скоростной характеристики переходной мантии) южного окружения ВЕП в низкоскоростной слой СГГ порождает расчлененность низкоскоростного слоя СГГ Ингульского мегаблока, что приводит к нарушению стационарности, и нелинейный процесс, проявляющийся в соответствующей температурной аномалии. При этом может увеличиваться энергетика и, следовательно, активизация данного участка мантии. Последняя может приводить к активизации флюидного процесса, который отражается в мантийной колонке на глубинах нижней и средней мантии, зоны раздела 1 и переходной зоны верхней мантии.

3. Тектонический шов Херсон—Смоленск имеет мантийное заложение. Каналом рас-

пространения флюидов может служить трансмантийная зона раздела, соответствующая этому шву. Можно ожидать, что максимально такой процесс будет проявляться в области пересечения указанной трансмантийной зоны и рассмотренной мантийной границы максимального распространения высокоскоростных слоев переходной зоны южного окружения ВЕП в переходную зону верхней мантии под УЩ.

4. Кора Ингульского мегаблока по скоростным характеристикам трехэтажна: верхняя кора на глубине до 5—8 км, средняя кора, ограниченная поверхностью  $K_2$ , на глубине 11—16 км и нижняя кора на глубине до 36—45 км. На глубинах 5—15 и 30—45 км выделяются зоны повышенной расчлененности (трещиноватости), а на глубине средней коры — волноводы. Соответствие зон повышенной расчлененности и зон повышенной электропроводности, наличие волновода позволяет утверждать присутствие флюидных процессов в коре Ингульского мегаблока как следствие сверхглубинных флюидных процессов мантии.

**Заключение.** Уместно еще раз подчеркнуть, что под флюидом, судя по составу его трассиров в породах литосферы, понимается высокоэнтальпийный сверхсжатый водородно-углеводородный поликомпонентный газ. С его физико-химической трансформацией и взаимодействием с различными формациями литосферы связаны процессы эндогенного рудообразования и нефтидогенеза [Лукин, 1999, 2006, 2009].

Свойственная в той или иной мере всем докембрийским кристаллическим щитам флюидодинамическая активность на ряде этапов неогена (включая нео- и актуотектонический) особенно ярко проявляется на УЩ, что обусловлено особенностями его геодинамической эволюции, тектонической позиции и аккреционного строения. И это в сочетании с высокой степенью геолого-геофизической изученности, широким диапазоном петро- и рудогенеза в пределах сравнительно небольшой территории, тесной взаимосвязью с окружающими нефтегазоносными регионами (склоны УЩ являются их перспективными зонами), а главное, недавно установленными интенсивными углеводородно-газоконденсатными проявлениями в пределах Новокоптяевского рудного поля позволяет рассматривать УЩ как своего рода полигон для изучения закономерностей нефтегазоносности кристаллических мас-

сивов и разработки методических принципов прогнозирования, поисков и разведки крупных углеводородных скоплений в зонах разуплотнения. Необходимо дальнейшее изучение газопроявлений на Новоконстантиновском рудном поле, включая изучение изотопного состава углерода и водорода газообразных УВ и конденсатов, содержания и изотопии гелия, минерального состава, геохимии и петрофизики коллекторов, морфологии газоносных резервуаров. Результаты этих исследований, с одной стороны, представляют первостепенный интерес для решения общих проблем теории нефтегенеза и оценки углеводородного потенциала кристаллического фундамента, а с другой — могут способствовать открытию в Украине промышленных углеводородных скоплений нового типа.

В контексте приведенных в статье данных о скоростном строении коры и мантии по Ингульскому мегаблоку присутствие газоконденсатных систем во вторичных коллекторах — ру-

доносных метасоматитах — представляет не только теоретический, но и несомненный практический интерес. Их связь с Кировоградской комплексной аномалией позволяет предполагать наличие на глубинах 3—5 км (и глубже) массивных газоконденсатных залежей в трещинно-вторичнопоровых кристаллических породах. С целью подготовки соответствующих прогнозно-поисковых объектов для глубокого бурения необходимо, с одной стороны, выполнить специальные исследования указанных углеводородных проявлений (включая изотопно-геохимические исследования для выяснения возможных источников газообразных и жидких углеводородов), а с другой — закартировать зоны разуплотнения на основе детальной сейсморазведки (с привлечением данных высокоточной гравиметрии и геотермии). Это позволит уточнить место заложения (сверх)глубокой параметрической скважины, целесообразность бурения которой в пределах Ингульского мегаблока УЩ не вызывает сомнений.

### Список литературы

- Булин Н. К., Щеглов А. Д., Егоркин А. В., Сологлов Л. Н. Новые сейсмические метки литосферы районов размещения крупных углеводородных скоплений. Докл. РАН. 1999. Т. 364. № 6. С. 792—795.
- Богатиков О. А., Коваленко В. И., Шарков Е. В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Москва: Наука, 2010, 606 с.
- Вертикальная аккреция земной коры: факторы и механизмы. Под ред. М. Г. Леонова. Москва: Наука, 2002, 461 с.
- Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3D Р-скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы). Геофиз. журн. 2005. Т. 27. № 6. С. 927—939.
- Гейко В. С., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н., Цветкова Т. А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода Р-волн. Геофиз. журн. 2006. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Геолого-геофизические критерии рудоносности и металлогении областей субдукции Украинского щита. Под ред. А. В. Анциферова. Донецк: Ноулидж, 2011, 285 с.
- Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Отв. ред. Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль. Киев: Наук. думка, 1995, 396 с.
- Гинтов О. Б., Пашкевич И. К. Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита. Геофиз. журн. 2010. Т. 32. № 2. С. 3—27.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Логвинов И. М., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Геотермический атлас Украины. Киев: Изд. ИГФ НАНУ, 2004, 59 с.
- Дмитриевский А. Н. Энергетика, динамика и дегазация Земли. Электрон. науч. журн. "Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика". 2009. № 1. <http://oilgasjournal.ru/2009-1/1-rubric/dmitrievsky-enrg.html>.
- Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г., Кирдяшкин А. А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд. СО РАН. Филиал "ГЕО", 2001, 408 с.
- Казанский В. И., Макивчук О. Ф., Попов Н. И., Старостенко В. И., Дрогичская Г. М., Трипольский А. А., Чигеров М. В. Глубинное строение и металлогения Кировоградского полиметалльного рудного района (Украинский щит): корреляция геологических и сейсмических данных. Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 1. С. 22—48.

- Каляев Г. И., Крутиховська З. О., Жуков Г. В., Прусс А. К., Рябенко В. А., Комаров О. М. Тектоника Українського щита. Київ: Наук. думка, 1972, 300 с.
- Кропоткин П. Н. Дегазация Земли и генезис углеводородов. Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. 1986. Т. 31. № 5. С. 540—547.
- Куприенко П. Я., Макаренко И. Б., Старостенко В. И., Легостаева О. В. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Ингульского мегаблока Украинского щита. Геофиз. журн. 2007. Т. 29. № 2. С. 17—41.
- Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Разин Д. В., Юзленко А. Т. О возможности картирования геоэлектрическими методами скопленений углеводородов в кристаллических породах. Геоинформатика. 2010. № 1. С. 22—32.
- Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования. Смирновский сб. Москва: Изд. Моск. ун-та, 1999. С. 63—98.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Обобщение результатов исследований. Под ред. А. В. Чекунова. Киев: Наук. думка, 1993, 259 с.
- Лукин А. Е. Литогеодинамические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах. Киев: Наук. думка, 1997, 225 с.
- Лукин А. Е. О происхождении нефти и газа (геосинергетическая концепция природных углеводородно-генерирующих систем). Геол. журн. 1999. № 1. С. 30—42.
- Лукин А. Е. О сквозьформационных флюидопроводящих системах в нефтегазоносных бассейнах. Геол. журн. 2004. № 3. С. 34—45.
- Лукин А. Е. Самородные металлы и карбиды — показатели состава глубинных геосфер. Геол. журн. 2006. № 4. С. 17—46.
- Лукин А. Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов. Геофиз. журн. 2009. Т. 31. № 2. С. 61—92.
- Лукин А. Е. Создание учения о нефтегазоносных кристаллических массивах — насущная проблема геологии XXI века. В кн.: Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П. Н. Кропоткина). Москва: ГЕОС, 2011. С. 405—441.
- Лукин А. Е., Ермаков И. М., Турчаненко Н. Т. Проблема додевонского рифтогенеза в Днепровско-Донецком авлакогене. Геотектоника. 1992. № 2. С. 30—46.
- Лукин А. Е., Юзленко А. Т. Открытие газоносных коллекторов гипогенно-метасоматической природы в кристаллических породах Украинского щита. Доп. НАН України. 2011. № 7. С. 106—113.
- Николаев И. Ю., Бурахович Т. К., Шеремет Е. М. Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита. Геофиз. журн. 2013. Т. 35. № 4. С. 127—140.
- Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. Москва: Наука, 1983, 287 с.
- Оронецкий Ю. П. Мантийный диапиризм. Киев: Наук. думка, 1990, 170 с.
- Паталаха Е. И. Украинский щит как передовой литосферный вал ЮЗ форланда Восточно-Европейской платформы. Геол. журн. 2005. № 2. С. 86—96.
- Планета Земля. Тектоника и геодинамика. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004, 648 с.
- Пуцаровский Ю. М. Сейсмотомография, тектоника и глубинная геодинамика. Докл. РАН. 1998. Т. 360. № 4. С. 518—522.
- Пуцаровский Ю. М., Пуцаровский Д. Ю. Геология мантии Земли. Москва: Геос, 2010. 138 с.
- Соболев Д. Н. Тектоника Украинского щита. Проблемы советской геологии. 1936. № 9. С. 10—21.
- Старостенко В. И., Пашкевич И. К., Кутас Р. И. Глубинное строение Украинского щита. Геофиз. журн. 2002. Т. 24. № 6. С. 36—48.
- Тарасов В. М. Відображення зон молоді активізації на території України в геофізичних полях та ізоотопії гелію: Автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 1999, 22 с.
- Тетяев М. М. К тектонике Украины. Изв. Укр. отгня Геол. комитета. 1926. № 9. С. 7—12.
- Трипольский А. А., Квачук Л. А., Трипольская В. А. Особенности сейсмической расчлененности земной коры Кировоградского блока. Геофиз. журн. 1984. Т. 6. № 3. С. 58—64.

- Трипольский А. А., Шаров Н. В. Литосфера докембрийских щитов Северного полушария земли по сейсмическим данным. Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2004, 157 с.
- Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии. 2-е изд., доп. Москва: Научный мир, 2003. 346 с.
- Цветкова Т. А., Бугаенко И. В. Сейсмотомография мантии под Восточно-Европейской платформой: мантийные скоростные границы. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 5. С. 161—172.
- Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмотомография Восточно-Европейской платформой: трехмерная *P*-скоростная модель мантии под Фенноскандией. Ч. I. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 1. С. 53—72.
- Чекунов А. В. Эволюция тектоносферы юго-восточной Европы. В кн.: *Тектоносфера Украины*: Сб. науч. трудов ИГФ АН УССР. Киев: Наук. думка, 1989, 182 с.
- Чекунов А. В., Трипольский А. А., Гейко В. С., Ливанова Л. П., Трипольская В. А., Цветкова Т. А. Сейсмическая модель верхней литосферы Украинского щита. *Докл. АН СССР*. 1986. Т. 291. № 2. С. 440—443.
- Шумлянская Л. А. Мантийные структуры под территорией Украины. Науч. работы Ин-та фундамент. исследований. Киев: Логос, 2008. Вып. 13. С. 28—36.
- Inoe H., Fukao Y., Tanabe K., Ogata Y., 1990. Whole mantle *P*-wave travel-time tomography. *Phys. Earth Planet. Int.* 59, 294—328.
- Geyko V. S., 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 26 (2), 3—32.
- Hafkenscheid E., Wortel M. J. R., Spakman W., 2006. Subduction history of the Tethys region derived from seismic tomography and tectonic reconstructions. *J. Geophys. Res.* 111, B08401. doi:10.1029/2005JB003791.

## Geofluids and up-to-date display of activation of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield

© V. I. Starostenko, A. Ye. Lukin, T. A. Tsvetkova,  
L. A. Shumlyanskaya, 2014

High degree of geological-geophysical studies of crustal processes combined with analysis of 3D *P*-velocity model of the mantle under the Ukrainian Shield and its southern surrounding up to the depth of 2 500 km allowed to correlate manifestations of defined possible super-deep fluid process with hydrocarbon-gas-condensate occurrences within the limits of Novokonstantinov ore field.

**Key words:** geofluids, velocity structure of the mantle, hydrocarbons, hydrocarbon potential.

### References

- Bulin N. K., Shheglov A. D., Egorkin A. V., Solodilov L. N., 1999. New seismic tags lithosphere areas accommodate large hydrocarbon accumulations. *Doklady RAN* 364 (6), 792—795 (in Russian).
- Bogatikov O. A., Kovalenko V. I., Sharkov E. V., 2010. Magmatism, tectonics, geodynamics of the Earth. Moscow: Nauka, 606 p. (in Russian).
- Vertical crustal accretion: factors and mechanisms, 2002. Ed. M. G. Leonov. Moscow: Nauka, 461 p. (in Russian).
- Geyko V. S., Tsvetkova T. A., Shumljanskaja L. A., Bugaenko I. V., Zayats L. N., 2005. Regional 3D *P*-velocity model of the mantle Sarmatia (south-west of the East European Platform). *Geofizicheskiy zhurnal* 27 (6), 927—939 (in Russian).
- Geyko V. S., Shumljanskaja L. A., Bugaenko I. V., Zayats L. N., Tsvetkova T. A., 2006. Three-dimen-

- sional model of the upper mantle of Ukraine arrival times of *P*-waves. *Geofizicheskij zhurnal* 28 (1), 3—16 (in Russian).
- Geological* and geophysical criteria rudoznosti and metallogenic areas of subduction of the Ukrainian shield, 2011. Ed. A.V. Antsiferov. Donetsk: Noulidzh, 285 p. (in Russian).
- Genetic* types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine, 1995. Eds Ya.N. Belevtsev, V.B. Koval. Kiev: Naukova Dumka, 396 p. (in Russian).
- Gintov O.B., Pashkevich I.K., 2010. Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of three-dimensional geophysical model of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 32(2), 3—27 (in Russian).
- Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnjaja O.V., Logvinov I.M., Tarasov V.N., Usenko O.V., 2004. Geothermal Atlas of Ukraine. Kiev: IGP NASU Publ., 59 p. (in Russian).
- Dmitrievskij A.N., 2009. Energy, dynamics and degassing of the Earth. *Electron. Sci. J. "Georesources. Geoenergetika. Geopolitics"* (1), <http://oilgasjournal.ru/2009-1/1-rubric/dmitrievskiyenrg.html> (in Russian).
- Dobrecov N.L., Kirdjashkin A.G., Kirdjashkin A.A., 2001. Deep Geodynamics. Novosibirsk: SB RAS. Branch "GEO", 408 p. (in Russian).
- Kazanskij V.I., Starostenko V.I., Makivchuk O.F., Popov N.I., Drogitskaya G.M., Tripolskiy A.A., Chicherov M.V., 2012. Deep structure and metallogeny Kirovograd polymetallic ore district (Ukrainian shield): correlation of geological and seismic data. *Geologija rudnyh mestorozhdenij* 54(1), 22—48 (in Russian).
- Kaljaev G.I., Krutyhovska Z.O., Zhukov G.V., Pruss A.K., Ryabenko V.A., Komarov O.M., 1972. Tectonics Ukrainian shield. Kyiv: Naukova Dumka, 300 p. (in Ukrainian).
- Kropotkin P.N., 1986. Degassing of the Earth and the genesis of hydrocarbons. *J. Chem. Soc. Union D.I. Mendeleev* 31 (5), 540—547 (in Russian).
- Kuprienko P.Ja, Makarenko I.B., Starostenko V.I., Legostaeva O.V., 2007. Three-dimensional density model of the crust and upper mantle Ingul megablock Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 29(2), 17—41 (in Russian).
- Levashov S.P., Jakimchuk N.A., Korchagin I.N., Razin D.V., Juzlenko A.T., 2010. On the possibility of mapping geoelectric methods accumulations of hydrocarbons in crystalline rocks. *Geoinformatika* (1), 22—32 (in Russian).
- Letnikov F.A., 1999. Fluid facies of the continental lithosphere and problems of ore formation. Smirnovsky compilation. Moscow: MSU Publ., 63—98 (in Russian).
- Lithosphere* of Central and Eastern Europe. Summary of the studies, 1993. Ed. A.V. Chekunov. Kiev: Naukova Dumka, 259 p. (in Russian).
- Lukin A.E., 1997. Lithogeodynamic factors in oil and gas basins aulacogene. Kiev Naukova Dumka, 225 p. (in Russian).
- Lukin A.E., 1999. On the origin of oil and gas (geosinergeticheskaya concept of natural hydrocarbon-generating systems). *Geologicheskij zhurnal* (1), 30—42 (in Russian).
- Lukin A.E., 2004. On through the fluid-mation systems in oil and gas basins. *Geologicheskij zhurnal* (3), 34—45 (in Russian).
- Lukin A.E., 2006. Native metals and carbides — indicators of deep geospheres. *Geologicheskij zhurnal* (4), 17—46 (in Russian).
- Lukin A.E., 2009. Native-metal micro- and nano-inclusions formations in oil and gas basins — tracers super deep fluids. *Geofizicheskij zhurnal* 31(2), 61—92 (in Russian).
- Lukin A.E., 2011. Establishment of the doctrine of petroleum crystalline arrays — a critical issue of Geology of the XXI century. In: *Gassing of the Earth and the genesis of oil and gas fields (on the 100<sup>th</sup> anniversary of the birth of Academician P.N. Kropotkin)*. Moscow: GEOS, 405—441 (in Russian).
- Lukin A.E., Ermakov I.M. Turchanenko N.T., 1992. The problem of pre-Devonian rifting in the Dnieper-Donets aulacogen. *Geotektonika* (2), 30—46 (in Russian).
- Lukin A.E., Juzlenko A.T., 2011. Opening the gas bearing reservoirs hypogenous-metasomatic nature in crystalline rocks of the Ukrainian shield. *Dopovidi NAN Ukrainy* (7), 106—113 (in Russian).
- Nikolaev I.Ju., Burahovich T.K., Sheremet E.M., 2013. Volumetric geoelectric model Kirovograd ore district central part of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 35(4), 127—140 (in Russian).
- Novgorodova M.I., 1983. Native metals in hydrothermal ores. Moscow: Nauka, 287 p. (in Russian).
- Orovetsky Yu.P., 1990. Mantle diapirism. Kiev: Naukova Dumka, 170 p. (in Russian).
- Patalakha E.I., 2005. Ukrainian shield as best lithospheric shaft SW foreland of the East Europe-

- an platform. *Geologicheskij zhurnal* (2), 86—96 (in Russian).
- Earth*, 2004. Tectonics and geodynamics. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 648 p. (in Russian).
- Pushcharovsky M.*, 1998. Seismotomography, tectonics and geodynamics of the deep. *Doklady RAN* 360 (4), 518—522 (in Russian).
- Pushcharovsky Yu. M., Pushcharovsky D. Yu.*, 2010. Geology Earth's mantle. Moscow: GEOS (in Russian).
- Sobolev D. N.*, 1936. Tectonics Ukrainian shield. *Problemy sovetskoy geologii* (9), 10—21 (in Russian).
- Starostenko V. I., Pashkevich I. K., Kutas R. I.*, 2002. Deep structure of the Ukrainian shield. *Geofizicheskij zhurnal* 24 (6), 36—48 (in Russian).
- Tarasov V. M.*, 1999. Zone Display young activated on the territory of Ukraine in geophysical fields and helium isotopes: Abstract of the thesis. Cand. geol. sci. diss. Kiev, 22 p. (in Ukrainian).
- Tetjaev M. M.*, 1926. On the tectonics of Ukraine. *Izvestija Ukr. otdelenija Geologicheskogo komiteta* (9), 7—12 (in Russian).
- Tripolskiy A. A., Kvachuk L. A., Tripolskaya V. A.*, 1984. Features of seismic crustal delamination Kirovograd block. *Geofizicheskij zhurnal* 6 (3), 58—64 (in Russian).
- Tripolskiy A. A., Sharov N. V.*, 2004. Lithosphere Precambrian shields of the northern hemisphere of the earth from seismic data. Petrozavodsk: Karelian Res. Centre RAS Publ., 157 p. (in Russian).
- Hain V. E.*, 2003. The main problems of modern geology. 2<sup>nd</sup> ed., ext. Moscow: Nauchnyy Mir, 346 p. (in Russian).
- Tsvetkova T. A., Bugaenko I. V.*, 2012. Seismotomography mantle beneath the East European platform: speed mantle boundary. *Geofizicheskij zhurnal* 34 (5), 161—172 (in Russian).
- Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zayats L. N.*, 2009. Seismotomography East European platform: three-dimensional *P*-velocity model of the mantle beneath Fennoscandia. *P. I. Geofizicheskij zhurnal* 31 (1), 53—72 (in Russian).
- Chekunov A. V.*, 1989. Evolution tectonosphere southeastern Europe. In: *Tectonosphere Ukraine: Collection of sci. papers IGP AS UkSSR*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Chekunov A. V., Tripolskiy A. A., Geyko V. S., Livanova L. P., Tripolskaya V. A., Tsvetkova T. A.*, 1986. Seismic model of the upper lithosphere of the Ukrainian shield. *Doklady AN SSSR* 291 (2), 440—443 (in Russian).
- Shumlyanskaya L. A.*, 2008. Mantle structure under the territory of Ukraine. The scientific work of the Institute of Fundamental Research. Is. 13. Kiev: Logos, 28—36 (in Russian).
- Inoe H., Fukao Y., Tanabe K., Ogata Y.*, 1990. Whole mantle *P*-wave travel-time tomography. *Phys. Earth Planet. Int.* 59, 294—328.
- Geyko V. S.*, 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geoфиз. журн.* 26 (2), 3—32.
- Hafkenscheid E., Wortel M. J. R., Spakman W.*, 2006. Subduction history of the Tetis region derived from seismic tomography and tectonic reconstructions. *J. Geophys. Res.* 111, B08401. doi:10.1029/2005JB003791.