

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2017



УДК 550.347.42; 550.837.21
DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9531

СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАНЫМ ВДОЛЬ ЧЕГЕМСКОГО ПРОФИЛЯ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

© 2017 А. Г. Шемпелев^{1, 2}, к.г.-м.н., С. У. Кухмазов³, М. А. Компаниец²,
К. С. Харебов¹, к.т.н., Х. О. Чотчаев¹, С. П. Шамановская²

¹Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_gas@mail.ru;

²АО «Кавказгеолсъёмка», Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Кисловодская, д. 203;

³ООО «Сей-Эко-Геон», Россия, 357623, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Пушкина, д. 50

Несколькими организациями в последние десятилетия были выполнены региональные геофизические исследования различными методами в пределах Северного Кавказа. Вдоль Чегемского профиля (перевал Китлод – г. Буденновск) впервые к северу от зоны сочленения структур Большого Кавказа со Скифской плитой получены две чёткие субгоризонтальные сейсмические границы, разделяющие, вероятно, платформенный чехол, переходный комплекс и консолидированный фундамент. Платформенный чехол, представленный палеозойскими отложениями большой мощности, по аналогии со многими территориями мира, где уже обнаружены и разведаны уникальные месторождения нефти, включая шесть залежей углеводородов, в числе которых и газоконденсатное Кармалиновское месторождение в зоне Передового хребта, может оказаться перспективным на нефтегазовые структуры. Результаты глубинных геофизических работ последних лет могут скорректировать направление поисков углеводородов в регионе. Известные в этом районе Предкавказья восточнее Чегемского профиля нефтегазовые структуры осадочного чехла приурочены к выделяемым по геофизике поднятиям в консолидированной коре или к их краевым частям. Это даёт основание ожидать наличие углеводородов, вероятно, в материнских палеозойских образованиях Чернолесской впадины, а также соответственно новые перспективные участки и в осадочном чехле по её обрамлению.

Ключевые слова: Большой Кавказ, Скифская плита, глубинные геофизические исследования, метод обменных волн землетрясений, метод магнитотеллурических зондирований.

В предгорной части территории Предкавказья в течение нескольких десятилетий проведён большой объём геофизических, прежде всего, сейсморазведочных работ с целью выявления структур, перспективных на нефть и газ, в том числе с 1985 г. с целью поиска неантиклинальных ловушек на глубинах до 6-8 км. В процессе этих работ достаточно детально изучено строение осадочного чехла Скифской плиты вплоть до подошвы меловых отложений. Для изучения рельефа разновозрастного фундамента и выяснения характера его тектонического взаимоотношения с осадочным чехлом широко использовался корреляционный метод преломленных волн (КМПВ) в комплексе с методом отражённых волн (МОВ) и электроразведкой. Их данные явились основой для построения тектонических схем поверхности фундамента. Однако на участках с распространением пермо-триасовых отложений результаты сейсморазведки оказались неоднозначными, что обусловлено блоковой

тектоникой и физическими свойствами отложений перми и триаса, которые имеют незначительные отличия от пород палеозоя. Последние сложены осадочными породами (глины, песчаники, известняки), степень метаморфизма которых колеблется в разных тектонических зонах от умеренной до сильной. На отдельных участках породы палеозоя сохраняют слоистость, что может представлять интерес с точки зрения обнаружения структур, благоприятных для скопления углеводородов (УВ). Поэтому, в связи с незначительным фондом перспективных нефтегазовых объектов в мезо-кайнозойском осадочном чехле, в пределах Предкавказья на первый план выходит проблема вовлечения в геологоразведочный процесс мощного (несколько км) сложно построенного и слабо изученного комплекса образований палеозоя. На сегодняшний день в мире выявлено более 400 промышленных нефтяных и газовых месторождений, запасы которых частично или полностью сосредоточены в породах фундамента. В Предкавказье также открыто в приповерхностной части фундамента шесть залежей углеводородов, в частности, газоконденсатное Кармалиновское месторождение с залежью в отложениях палеозоя.

Результаты глубинных геофизических работ последних лет могут скорректировать направление поисков углеводородов в регионе. На территории Северного Кавказа и Предкавказья в рамках работ по проблеме прогноза землетрясений с целью изучения строения земной коры создана сеть региональных профилей глубинных исследований. В частности, в 2014 г. АО «Кавказгеолсъёмка» и ООО «Сей-Эко-Геон» методами обменных волн землетрясений (МОВЗ) и магнитотеллурических зондирований (МТЗ) был отработан один из профилей этой сети – Чегемский. Он располагается от перевала Китлод на северных склонах Кавказа и до города Буденновск в Предкавказье (рис. 1), то есть в пределах альпийской структуры Большой Кавказ и Скифской эпигерцинской плиты. Ниже рассматриваются результаты этих работ на фоне материалов ранее выполненных гравимагнитных съёмок и полученный глубинный геолого-геофизический разрез вдоль интерпретационной линии Чегемского профиля протяжённостью 210 км.

Гравитационное поле, представленное графиком Δg и разрезом эффективной плотности (рис. 2 и 3), характеризуется минимальными значениями в южном конце профиля и относительно повышенными на 80-100 мГал в остальной его части. Зоной резкого градиента поля силы тяжести в интервале 10-го – 60-го километров профиля разрез делится на два блока, значительно отличающихся по эффективной плотности.

Земная кора вдоль Чегемского профиля по эффективной намагниченности также чётко распадается на два блока (рис. 2 и 3). Магнитное поле $(\Delta T)_a$, относительно отрицательное в региональном плане для Главного хребта Большого Кавказа, осложнено локальными аномалиями разных знаков для южной горной части Чегемского профиля. Предкавказский блок, практически, на всю мощность земной коры характеризуется повышенными значениями эффективной намагниченности. Причём на фоне относительно спокойного магнитного поля в районе профиля известна протяжённая магнитная положительная аномалия (до 500 нТл) северо-западного простиранья. Юго-восточная ее часть пересекается линией профиля (90-й км).

Сейсмологические исследования по Чегемскому профилю заключались в проведении работ методом обменных PS-волн от далёких землетрясений и методом сейсмической томографии. Обработка данных МОВЗ нацелена на картирование границ раздела слоев с различающимися между собой значениями скоростей сейс-

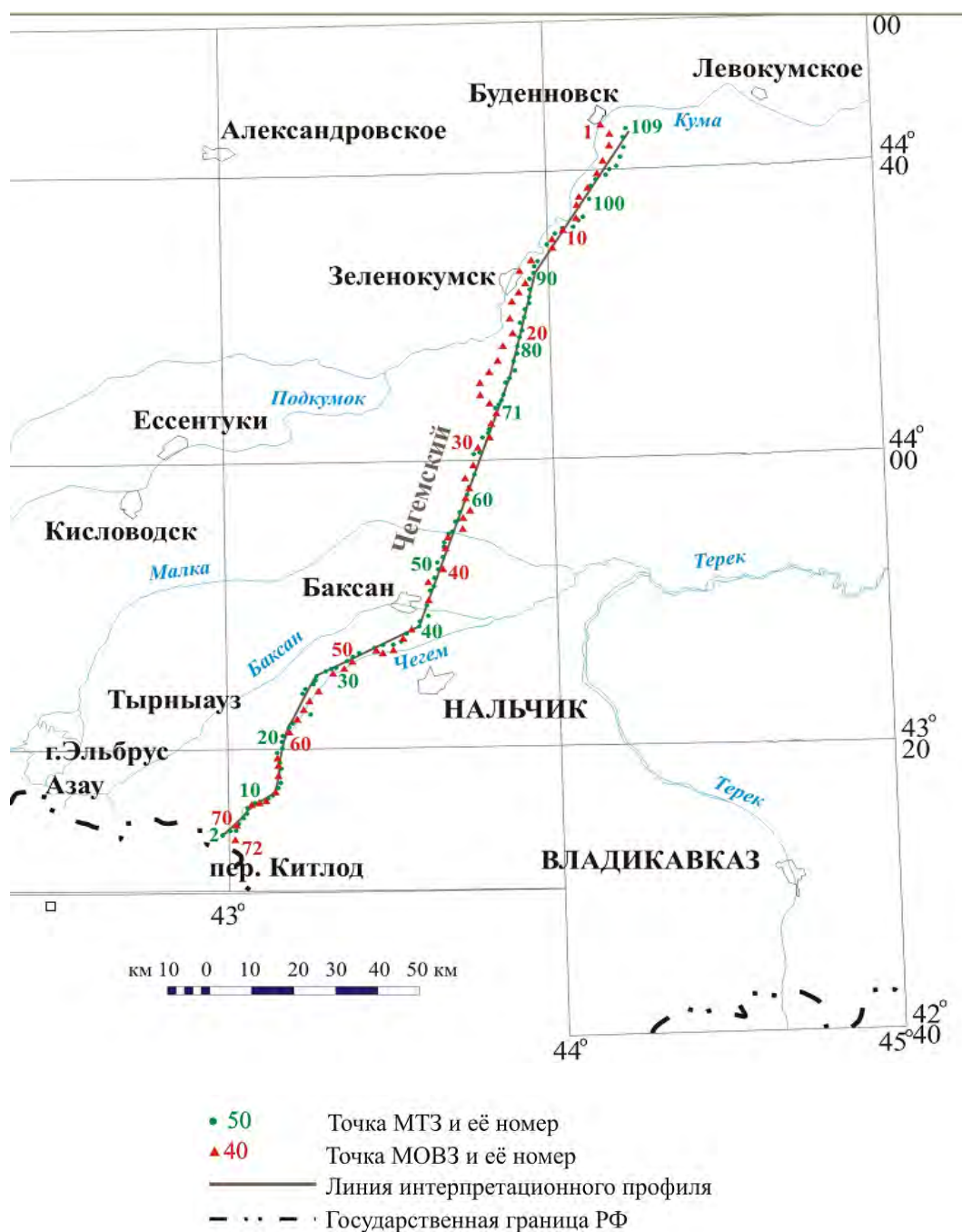


Рис. 1. Схема расположения станций геофизических наблюдений вдоль Чегемского профиля

мических волн. При обработке данных метода сейсмической томографии делается акцент на выявление скоростных аномалий (неоднородностей) вдоль профиля. Результаты сейсмологических исследований приведены на рисунке 4, авторами (Ю. А. Геворкян, С. У. Кухмазов) которых в интервале 50-го – 70-го километров профиля предполагается зона контакта разнородных блоков земной коры. Южный блок отличается часто интенсивными, но слабо коррелируемыми между станциями, границами обмена при относительно высоких скоростях в верхней части разреза. Севернее, в пределах Скифской плиты, фиксируются две области (в интерва-

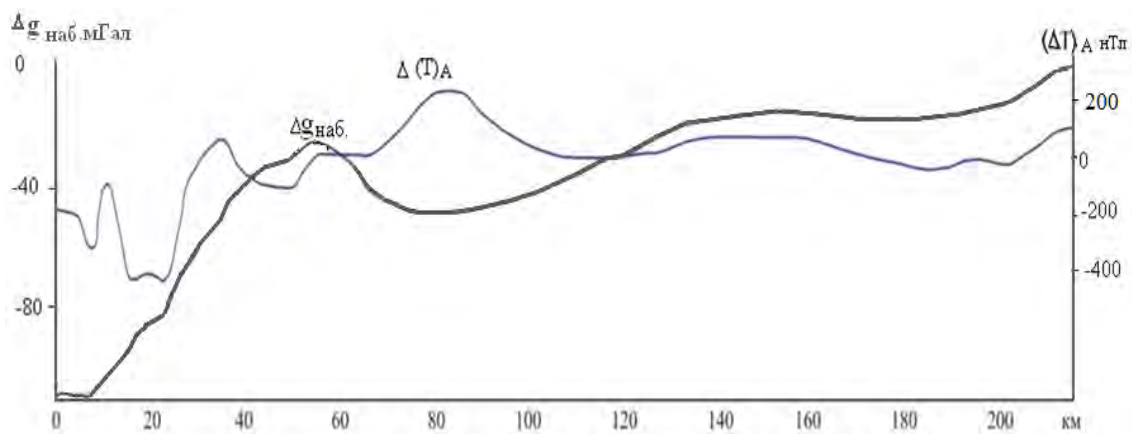
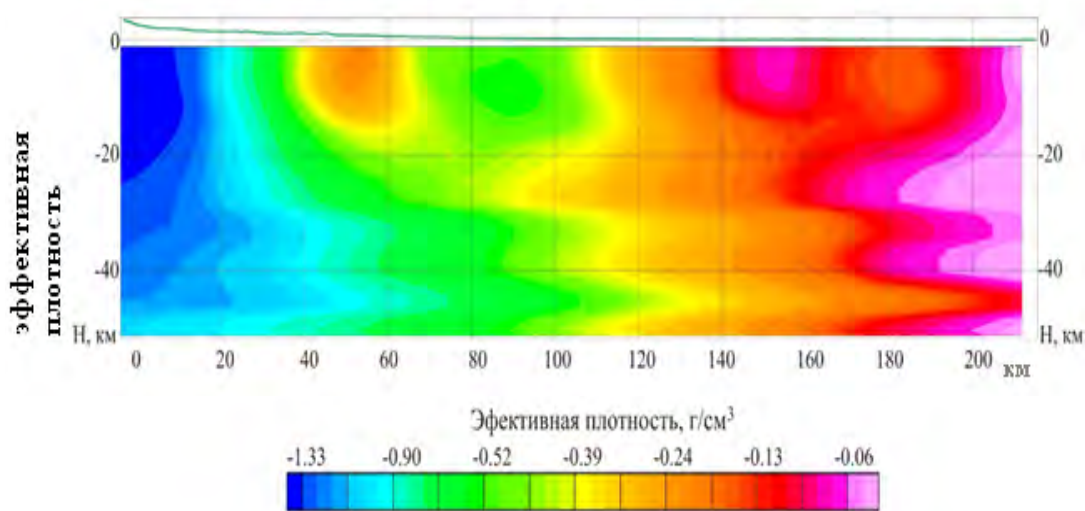


Рис. 2. Графики физических полей

ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОТНОСТЬ КОРЫ ВДОЛЬ ЛИНИИ ПРОФИЛЯ



ЭФФЕКТИВНАЯ НАМАГНИЧЕННОСТЬ КОРЫ ВДОЛЬ ЛИНИИ ПРОФИЛЯ

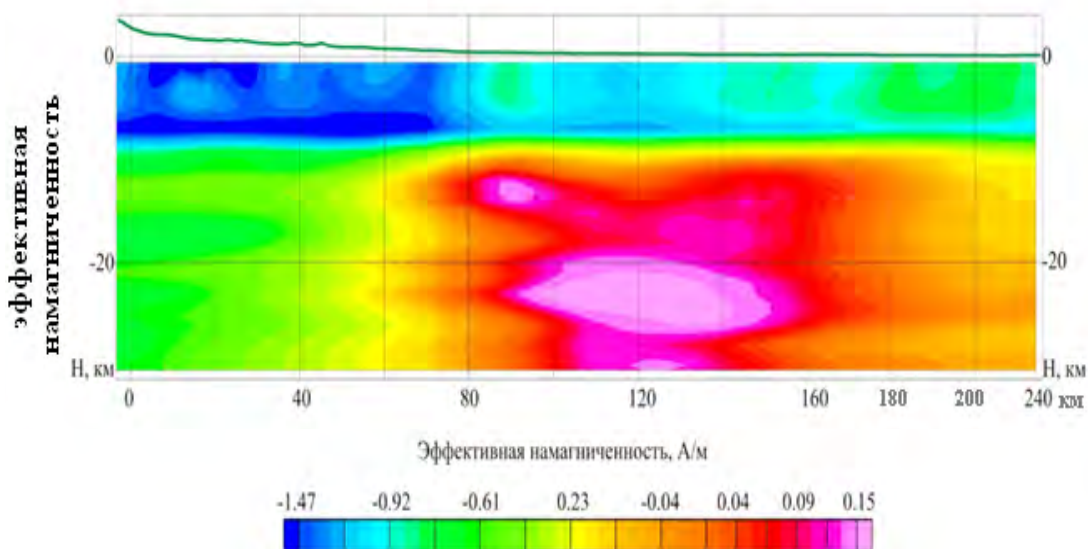


Рис. 3.

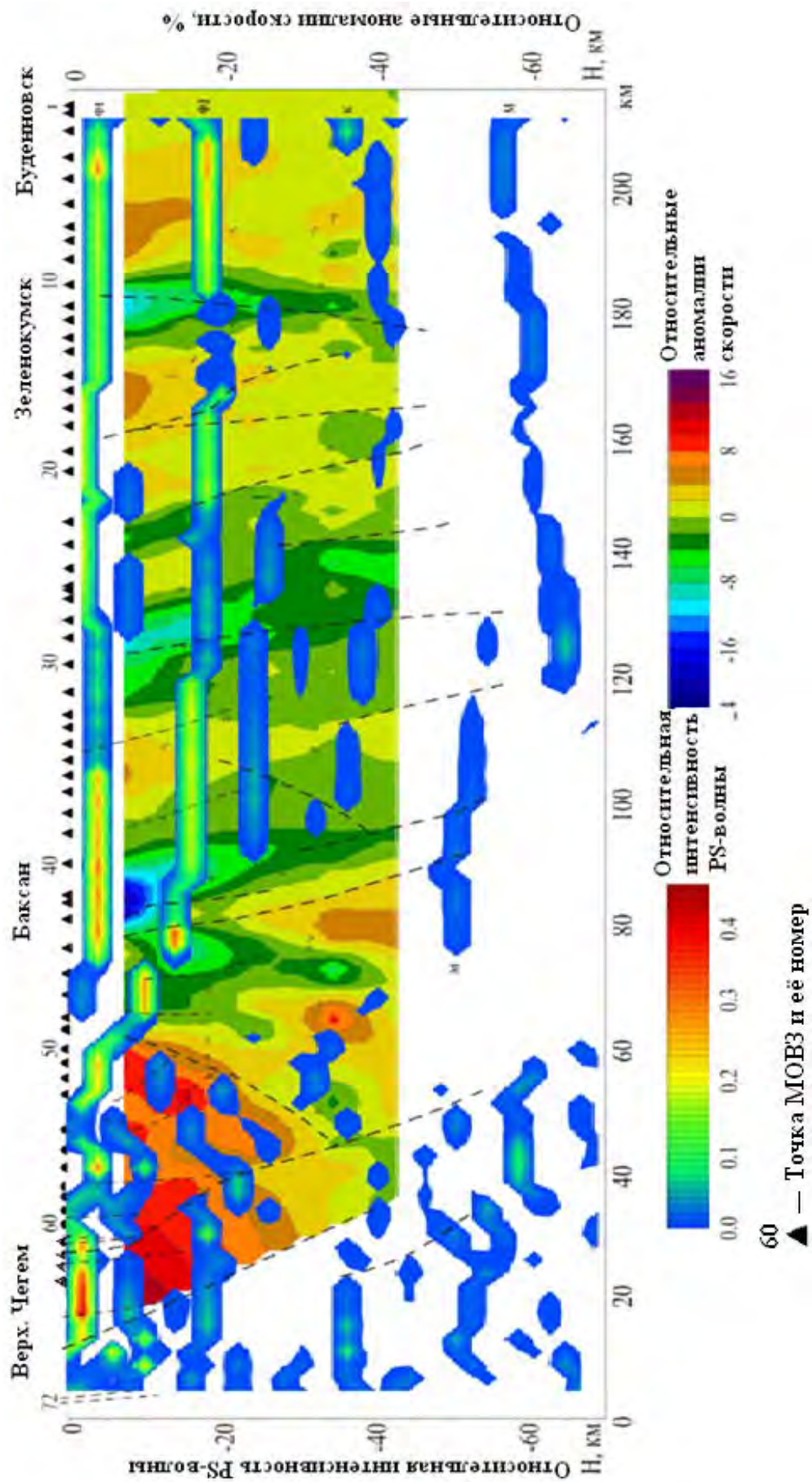


Рис. 4. Сейсмологическая модель земной коры по линии Чегемского профиля

лах 60-95 км и 110-140 км) и одна зона (в интервале 165-178 км) низких значений относительных скоростных аномалий продольных сейсмических волн. В пределах центральной и северной частей разреза зафиксированы две чёткие, практически, горизонтальные границы обмена PS-волн. Одна из них прослеживается на глубинах 3-5 км, другая – 15-18 км. В пределах Скифской плиты ниже 20-ти км сейсмические границы обменных PS-волн прерывисты и слабо выражены.

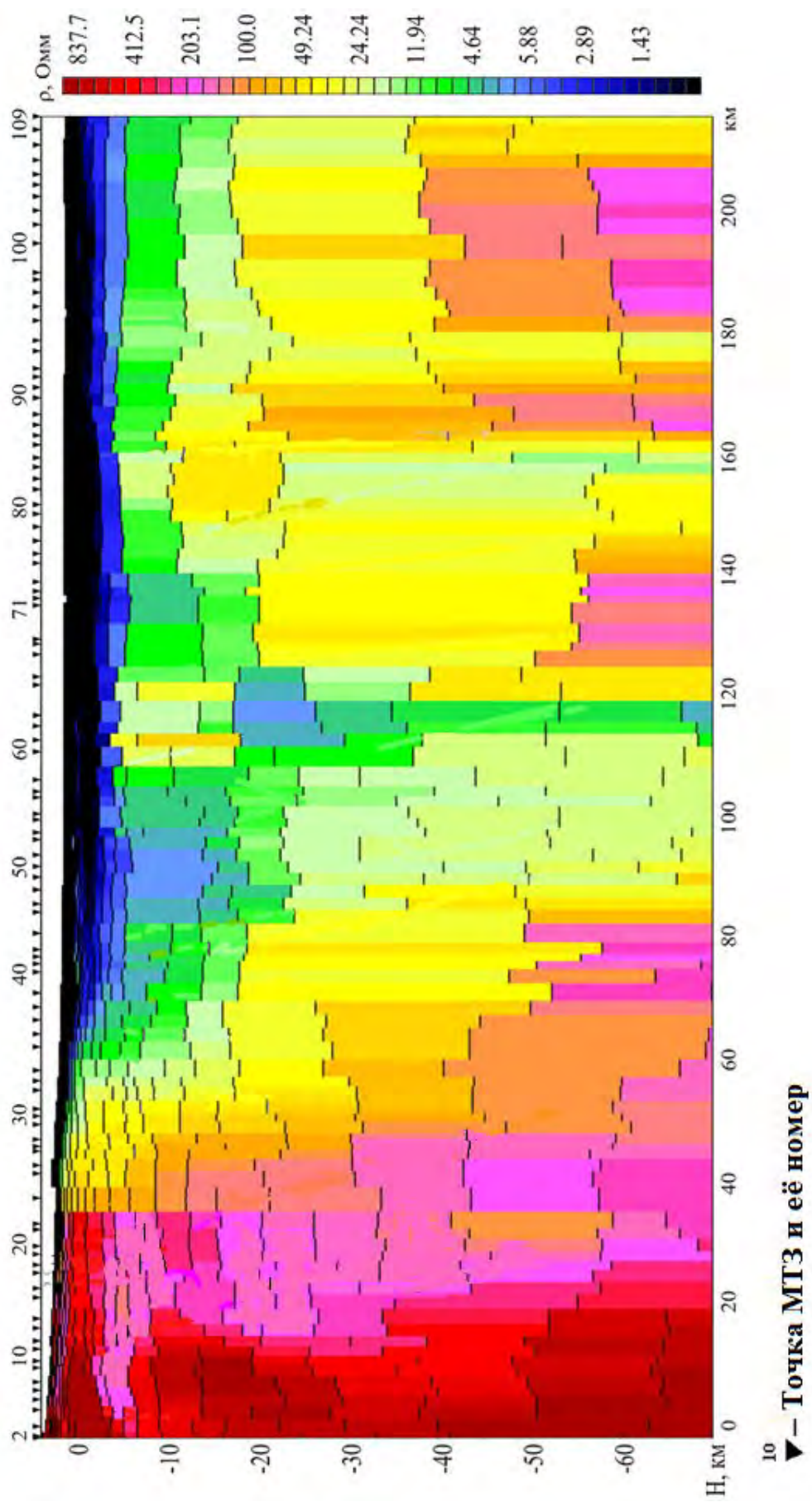
Земная кора Чегемского разреза в геоэлектрическом поле по результатам 2D-инверсии магнитотеллурических данных также распадается на два блока. Причём в районе 45-го километра профиля на глубинах более 10 км по данным авторов работ М. А. Компанийца и С. П. Шамановской фиксируется резкая смена ориентировки осей эллипсов поляризации и изменение их формы. Южный блок выделяется наибольшими значениями кажущихся сопротивлений в верхней части земной коры (рис. 5), где они достигают 1000 и более омметров (Омм). Для глубоких горизонтов земной коры и, вероятно, для верхней мантии южного блока они не превышают двух-трёх сотен Омм. В то же время в пределах предкавказского блока отмечаются очень низкими значениями кажущихся сопротивлений (до 10 Омм) верхняя часть геологического разреза и несколькими сотнями омметров более глубокие горизонты земной коры и верхняя мантия. Следует обратить внимание на то, что ось слоя высокой проводимости располагается на глубинах 2-4 км.

Для большей объективности представлений о глубинном геолого-геофизическом разрезе по линии Чегемского профиля материалы наблюдаемой волновой картины методом обменных волн землетрясений (функции приёмников станций МОВЗ) совмещены с решением обратной двумерной задачи МТЗ по программе Reboss (рис. 6).

Приведённые выше фактические материалы показывают, что земная кора в пределах Чегемского разреза распадается на два региональных блока, значительно отличающихся практически по всем геофизическим параметрам. Зона раздела блоков находится между 40-м и 70-м километрами профиля. Здесь её положение можно предполагать по смене эффективной намагничённости, повышенным градиентам электропроводности, а также по деформациям границ обмена PS-волн и относительной аномалии понижения скорости продольных сейсмических волн.

Эта зона раздела может быть Предкавказским разломом [Шемпелев, 1982], который по результатам количественных расчётов гравитационных аномалий падает на северо-восток до глубин порядка 14-ти км под углом около 55°. К зоне разлома приурочено значительное число очагов землетрясений, зафиксированных в этом районе в основном на глубинах 10-20 км.

Южный блок – это структуры Большого Кавказа (поднятие Главного хребта и Северо-Кавказская моноклинали). Блок характеризуется минимальными значениями поля силы тяжести (рис. 2 и 3), которым могут отвечать разуплотнение земной коры и увеличение её толщины, что наблюдается и по другим региональным геофизическим профилям антикавказского направления [Шемпелев и др., 2015, 2017]. Аномалии магнитного поля до 200-250 нТл (рис. 2 и 3) связываются с неогеновыми игнимбритами, туфами и лавами андезито-дацитов Верхне- и Нижне-Чегемских вулканических построек. Поднятие Главного хребта в основном представлено палеозойскими гранитами, мигматитами разной степени магматизации и метаморфическими породами. Значительно дифференцированные электрические и скоростные характеристики верхней части разреза соответствуют весьма сложно-

Рис. 5. Геоэлектрический разрез по данным МТЗ, $h=70$ км

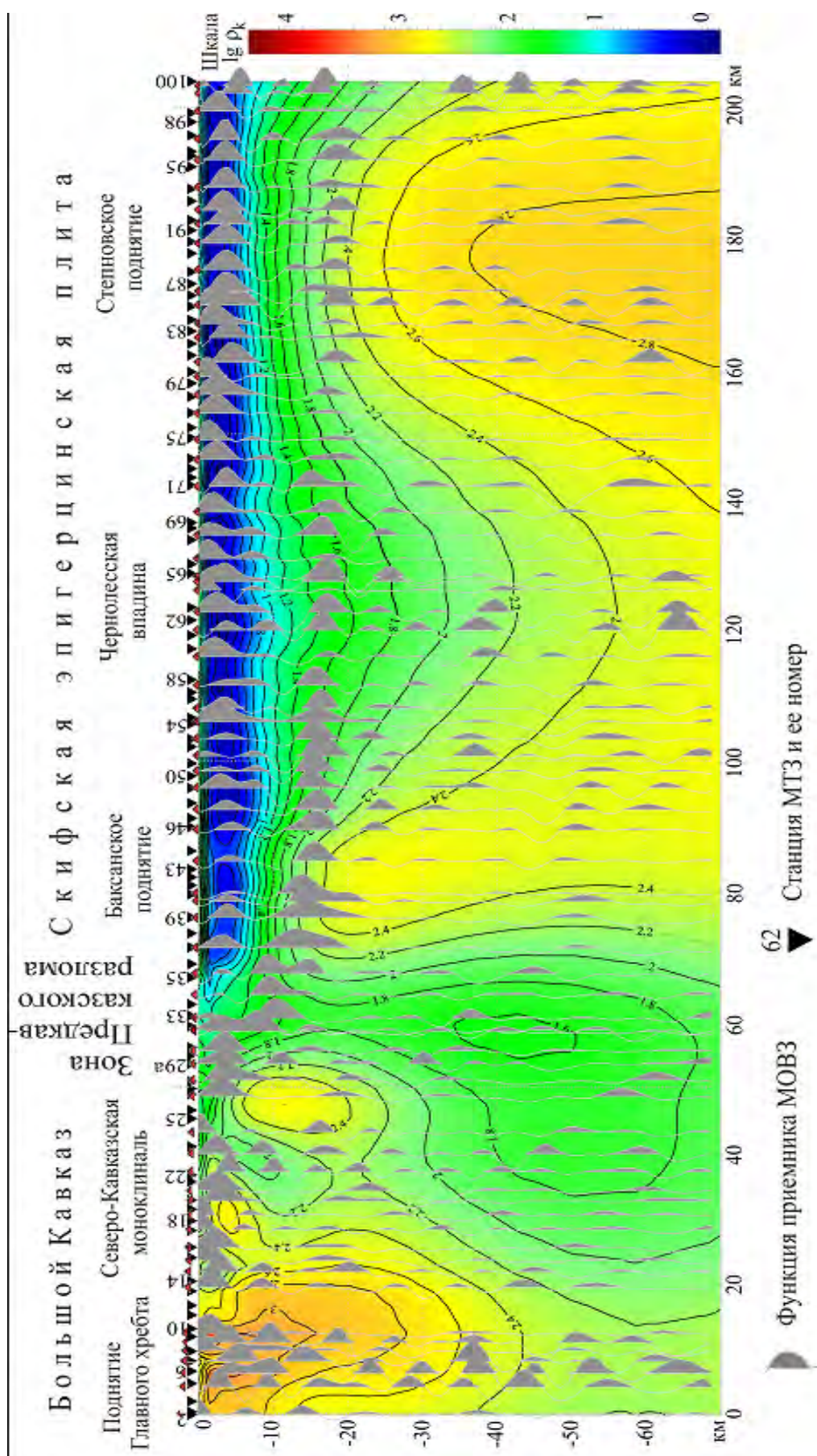


Рис. 6. Глубинный геолого-геофизический разрез по линии Чегемского профиля

му его геологическому строению. Северо-Кавказская моноклираль (30-й – 60-й км профиля), в отличие от поднятия Главного хребта, в верхней части геологического разреза представлена средне-верхнеюрскими, меловыми и палеогеновыми отложениями незначительной мощности, полого (до 8°) погружающимися в северном направлении, и, преимущественно, протерозойским кристаллическим фундаментом. Нижние слои земной коры южного блока имеют повышенную электропроводимость и слабую коррелируемость границ обмена PS-волн между станциями МОВЗ, в том числе для глубин обычного залегания поверхности Мохо (М). Это можно объяснить значительной нарушенностью границ раздела и изменениями физического состояния пород.

Северный блок характеризуется относительно орогенного южного блока положительными значениями гравитационного поля, что типично для платформ, и повышенными значениями магнитного поля. Положение поверхности Мохо здесь предполагается по одной из серии границ обмена PS-волн вдоль профиля, которая может ему соответствовать. Обоснованием выбора границы М на глубинах именно порядка 40 км является положение поверхности Мохо, установленное глубинными сейсмическими зондированиями (ГСЗ) по профилю Степное – Бакуриани [Павленкова, 2012; Шемпелев, 1982], проходящему в пределах Скифской плиты в аналогичных структурно-тектонических условиях в 40-60-ти километрах к востоку от описываемого Чегемского профиля. Сходство подтверждается, в частности, идентичностью характера гравитационного поля для обоих профилей. Фрагменты границ кристаллического фундамента и поверхности Мохо по волнам, регистрируемым в первых вступлениях, были построены ещё в авторском варианте интерпретации материалов ГСЗ по профилю Степное – Бакуриани [Юров, 1963]. Поэтому, предполагаемые Кухмазовым С. У. и Геворкяном Ю. А., авторами работ МОВЗ [Шемпелев, 2016], поверхности М на глубинах 50-65 км (рис. 4), очевидно, являются границами внутри верхней мантии.

Геологическое строение северного блока типично для молодых платформ. В его земной коре, как говорилось выше, наиболее чётко прослеживаются две сейсмические границы (рис. 4 и 6). Вероятно, это – поверхности несогласия, разделяющие платформенный чехол, переходный комплекс и дислоцированный фундамент.

Положение сейсмической границы на глубинах 3-4,5 км субпараллельно оси аномалий проводимости в верхней части геоэлектрического разреза. Эта граница по данным бурения несколько западнее Чегемского профиля (скважины Кунаковская-1, 16, 5 и др.) и, по мнению некоторых геологов [Обыскалов и др., 1992], является поверхностью срыва. Электросопротивления осадочной толщи низкие, они практически не дифференцированы и характеризуются величинами 4-8 Ом. Залегают молодые низкоомные образования почти горизонтально. Подошва платформенного чехла Скифской эпигерцинской плиты сложена, вероятно, аркозовыми песчаниками, песчанистыми доломитами и конгломератами пермо-триасового возраста. Зона сместителя, мощностью несколько сотен метров, представлена преимущественно тектоническими брекчиями и милонитами.

Вторая чётко прослеживаемая по МОВЗ граница обмена (рис. 4 и 6) на глубинах 15-18 км также может быть поверхностью срыва, поверхностью пологого регионального надвига. Зона надвига, вероятно, маломощна, а разделяемые ею толщи слабо различаются по электрическим характеристикам. По скоростным параметрам и по конфигурации поля кажущихся электрических сопротивлений, лежащий

между двумя срывами 15-тикилометровый переходный комплекс слабо дислоцирован. Просматриваются только отдельные площадки обмена волн на глубинах 7-9 км в центральной части профиля. Возможно, заслуживают внимания относительные аномалии скорости томографического разреза (рис. 4).

В высокоомной части земной коры северного блока по МТЗ можно предполагать два региональных поднятия (Баксанское и Степновское), разделенные впадиной (Чернолесской). Их структурное положение подчёркивается и на разрезе эффективной намагниченности (рис. 3). Магнитная аномалия на 90-м километре профиля на глубине 10-15 км приурочена к Баксанскому поднятию, а крупная аномалия в интервале 100-го – 150-го километров на глубинах более 20-ти км – к Чернолесской впадине. Отдельные площадки обмена PS-волн, вероятно, подчёркивают положение выше названных структур консолидированной коры.

Тектоническое и, в частности, нефтегазовое районирование территории Северного Кавказа пока ведётся по структурным особенностям платформенного чехла. В то же время платформенный чехол не унаследует, судя по геофизическим данным, структуры переходного комплекса, а тем более дислоцированного фундамента.

Известные в этом районе Предкавказья восточнее Чегемского профиля нефтегазоносные структуры осадочного чехла приурочены к выделяемым по геофизике поднятиям в консолидированной коре или к их краевым частям. Это даёт основание ожидать наличие углеводородов, вероятно, в материнских палеозойских образованиях Чернолесской впадины, а также соответственно новые перспективные участки и в осадочном чехле по её обрамлению.

Заключение

Наряду с определением природы Главного надвига как структуры взаимодействия Скифской плиты и южных микроплит, при региональных геофизических исследованиях представляет интерес многокилометровый палеозойский фундамент, который на участках распространения пермо-триасовых отложений геофизическими методами выделяется неоднозначно, что обусловлено блоковой тектоникой и близкими по значениям физическими свойствами отложений перми-триаса и пород палеозоя. На отдельных участках породы палеозоя сохраняют слоистость, что может способствовать формированию положительных структур, благоприятных для скоплений углеводородов (УВ). Оценка перспектив нефтегазоносности мощного (несколько км) сложно построенного и слабо изученного комплекса образований палеозоя для Предкавказья представляет существенный интерес, если учесть, что на сегодняшний день в мире выявлено более 400 промышленных нефтяных и газовых месторождений, запасы которых частично или полностью сосредоточены в породах фундамента, в т. ч. в Предкавказье в приповерхностной части фундамента открыты шесть залежей углеводородов, включая газоконденсатное Кармалиновское месторождение.

Литература

1. Обыскалов А. К., Марков А. Н., Грабкин О. В., Переверзева Н. А., Белокопытова Л. Г. О надвиговом строении фундамента Предкавказья в северном обрамлении Минераловодского выступа // Советская геология. – 1992. – № 3. – С. 68-72.
2. Павленкова Г. А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичевань (результаты переинтерпретации первичных

данных) // Физика Земли. – 2012. – № 5. – С. 16-25.

3. Шемпелев А. Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геологический журнал. – Киев. – 1982. – № 4. – С. 97-108.

4. Шемпелев А. Г. Результаты геофизических работ по Чегемскому профилю (Северный Кавказ) // Материалы 48 (XLVIII) тектонического совещания «Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ». Том 2. – М.: ГЕОС, 2016. – С. 299-302.

5. Шемпелев А. Г., Заалишвили В. Б., Кухмазов С. У. Глубинное строение западной части Центрального Кавказа по геофизическим данным // Геотектоника. – 2017. – № 5. – С. 20-29.

6. Шемпелев А. Г., Кухмазов С. У., Чотчаев Х. О., Невский Л. Н. Структура Большого Кавказа – результат пологого надвига земной коры Скифской плиты на консолидированную кору микроплит Южного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – Владикавказ. – 2015. – № 4. – С. 129-146.

7. Юров Ю. Г. Строение земной коры на Кавказе и изостазия // Советская геология. – 1963. – № 9. – С. 42-47.

DOI: 10.23671/VNC.2017.4.9531

STRUCTURE OF THE EARTH'S CRUST ACCORDING TO GEOPHYSICAL DATA ALONG CHEGEM PROFILE (NORTH CAUCASUS)

© 2017 A. G. Shempelev^{1,2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), S. U. Kukhmazov³,
M. A. Kompaniets², K. S. Kharebov¹, Sc. Candidate (Tech.), H. O. Chotchaev¹,
S. P. Shamanovskaya²

¹Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz,
Markov Str., 93a, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²«Kavkazgeolsyomka», Russia, 357600, Stavropol Region, Essentuki,
Kislovodskaya Str., 203;

³«SEI-EKO-Geon», Russia, 357623, Stavropol Region, Essentuki, Pushkin Str., 50

Several organizations in recent decades have carried out regional geophysical studies by various methods within the North Caucasus. Along the Chegem profile (the Kitlod Pass – town of Budennovsk), for the first time to the north of the junction zone of the Greater Caucasus structures with the Scythian plate, two distinct subhorizontal seismic boundaries, probably sharing a platform cover, a transitional complex and a consolidated foundation have been obtained. The platform cover, represented by large Paleozoic deposits, by analogy with many areas of the world where unique oil deposits, including six hydrocarbon deposits, and the gas condensate Karmalinovskoye deposit in the zone of the Forward Ridge, have already been discovered and explored, may prove promising for oil and gas structures. The results of deep geophysical studies of recent years can correct the direction of hydrocarbon exploration in the region. The oil-and-gas-bearing structures of the sedimentary cover, known in this region of the Ciscaucasia to the east of the Chegem profile, are confined to uplifts in geophysics in the consolidated crust or to their marginal parts. This gives grounds to expect the presence of hydrocarbons, probably in the parent Paleozoic formations of the Chernoslavskaya depression, and also, respectively, new promising sites in the sedimentary cover along its framing.

Keywords: greater Caucasus, the Scythian plate, deep geophysical survey, the method of exchange waves of earthquakes, the method of magnetotelluric soundings.

References

1. Obyskalov A.K., Markov A.N., Grabkin O.V., Pereverzeva N.A., Belokopytova L.G. O nadvigovom stroenii fundamenta Predkavkaz'ja v severnom obramlenii Mineralovodskogo vystupa [On the thrust structure of the Ciscaucasia in the northern frame of the Mineralovodsky protrusion]. *Sovetskaja geologija*, 1992, No. 3, pp. 68-72. (in Russian)
2. Pavlenkova G.A. Stroenie zemnoj kory Kavkaza po profiljam GSZ Stepnoe – Bakuriani i Volgograd – Nahichevan' (rezul'taty pereinterpretacii pervichnyh dannyh) [The structure of the Earth's crust of the Caucasus on the profiles of the DSS Stepnoe-Bakuriani and Volgograd-Nakhichevan (the results of reinterpretation of primary data)]. *Fizika Zemli*, 2012, No. 5, pp. 16-25. (in Russian)
3. Shempelev A.G. Razlomno-blokovaja tektonika Severnogo Kavkaza po geofizicheskim dannym [The fault-block tectonics of the North Caucasus on geophysical data]. *Geologicheskij zhurnal*, Kiev, 1982, No. 4, pp. 97-108. (in Russian)
4. Shempelev A.G. Rezul'taty geofizicheskikh rabot po Chegemskomu profilju (Severnyj Kavkaz) [Results of geophysical work on Chegem profile (North Caucasus)]. *Materialy 48 (XLVIII) tektonicheskogo soveshhanija «Tektonika, geodinamika i rudogenez skladchatyh pojasov i platform»*, Vol. 2, M.: GEOS, 2016, pp. 299-302. (in Russian)
5. Shempelev A.G., Zaalishvili V.B., Kuhmazov S.U. Glubinnoe stroenie zapadnoj chasti Central'nogo Kavkaza po geofizicheskim dannym [Deep structure of the western part of the Central Caucasus from geophysical data]. *Geotektonika*, 2017, No. 5, pp. 20-29. (in Russian)
6. Shempelev A.G., Kuhmazov S.U., Chotchaev H.O., Nevskij L.N. Struktura Bol'shogo Kavkaza – rezul'tat pologogo nadviga zemnoj kory Skifskoj plity na konsolidirovannuju koru mikroplit Juzhnogo Kavkaza [The structure of the Greater Caucasus – the result of a gentle overthrust of the earth's crust of the Scythian plate on the consolidated crust of microplates of the South Caucasus]. *Geologija i geofizika Juga Rossii, Vladikavkaz*, 2015, No. 4, pp. 129-146. (in Russian)
7. Jurov Ju.G. Stroenie zemnoj kory na Kavkaze i izostazija [Structure of the Earth's crust in the Caucasus and isostasy]. *Sovetskaja geologija*, 1963, No. 9, pp. 42-47. (in Russian)