

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕТАЛЬНЫХ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЖНЕЗЕЙСКОЙ ОБЛАСТИ ЗЕЙСКО-
БУРЕЙНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

А.П. Сорокин^{1,2}, В.Б. Каплун³, Ю.Ф. Малышев³, А.Т. Сорокина¹, Т.В. Артеменко¹

¹ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000;
e-mail: amurnc@ascnet.ru

²ФГБУН Амурский научный центр ДВО РАН, пер. Релочный 1, г. Благовещенск, 675000;

³ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск,
680000; e-mail: kaplun@itig.as.khb.ru

Поступила в редакцию 31 июля 2014 г.

В 2010–2012 гг. проведены исследования Нижнезейского бассейна методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в сопровождении газогеохимического опробования. Результаты геофизических работ позволяют с достаточной эффективностью исследовать крупные геологические структуры, используя интервал измерений через 5 км, а для детализации отдельных элементов (границ прогибов и поднятий, мощности чехла) – через 1 км. Установлено, что метод МТЗ четко вырисовывает блоковое строение Нижнезейского бассейна, внутреннюю структуру прогибов, формы сопряжения поднятий и депрессий и регматический каркас региона. Газогеохимические исследования позволили провести расшифровку установленных по геофизическим методам разрывных нарушений с определением зон высокой проницаемости. В этих зонах установлены аномалии почвенного гелия и водорода, что позволяет рассматривать их как флюидопроводящие структуры. В целом проведенные исследования, в отдельных случаях, позволяют также выделить области локализации целого ряда полезных ископаемых.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, депрессионные зоны, прогибы, поднятия, нефть, газ, уголь, Зейско-Буреинский осадочный бассейн, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Со второй половины прошлого столетия, в связи с открытием в Китае нефтегазоносной провинции Сунляо, крупных угленосных бассейнов, а также месторождений благородных металлов в Приамурье и Приморье, резко возрос интерес к континентальным впадинам Дальнего Востока. Среди них преимущество отдается Зейско-Буреинскому мезозойско-кайнозойскому бассейну, наложенному на герциниды Лунцзян-Селемджинского орогенного пояса, докембрийские Цзямусы-Буреинский, Аргуно-Мамынский и Дягдачинский массивы Центрально-Азиатского пояса [24]. Это крупнейшая на российской окраине Азии отрицательная структура, ограниченная с севера Янканно-Тукурингро-Джагдинским, с востока – Туранским, а с запада и юга, соответственно, Большехинганским и Малохинганским горными сооружениями. Основные элементы бассейна представлены Нижнезейской и Амуро-Зейской областями прогибания, разделенны-

ми Амуро-Мамыньским поднятием. Наиболее изучена из приведенных депрессионных систем – Нижнезейская погруженная область, южная окраина которой включает прогибы Сунью, Чжанхэ и Цзяинь, расположенные на территории КНР [25, 27].

СТЕПЕНЬ ИЗУЧЕННОСТИ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕЙСКО-БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА

Зейско-Буреинский бассейн и впадина Сунляо входят в состав Восточно-Азиатского континентального рифтогенного пояса (ВАКРП), вытянутого в меридиональном направлении от Северо-Китайской до Сибирской платформы. Территория его (площадью около 80 тыс. км²) охвачена среднemasштабными геологической, гравиметрической съемками и более детальными (1:25 000–1:200 000) аэромагнитными исследованиями. На отдельных площадях проведены электроразведочные работы (методами ТТ, ВЭЗ, ДЭЗ) и сейсморазведочные профили (КМПВ, МОВЗ,

ГСЗ). В дополнение к этому следует отметить наличие весьма существенной геолого-геофизической информации, полученной при нефтепоисковых работах (1950–1972 гг.), в процессе которых было пройдено более 100 скважин, из которых 14 – глубоких (1399–3254 м) общим метражом более 31 тыс. м. Тем не менее, вопрос о перспективах нефтегазоносности этого региона остался открытым.

Основные результаты указанных исследований опубликованы в работах И.Н. Сулимова (1961 г.)*, А.П. Таркова [23], В.Г. Трачука (1962 г.), Б.В. Оленина и др. (1963 г.), Э.Н. Лишневого [12], И.Ф. Горбачева и А.А. Тимофеева [6], А.В. Петухова [15], Г.Л. Бернштейна и др. [2], А.П. Сорокина [17], С.В. Потапова (1979) [16], Г.А. Шаткова и др. [26], Б.П. Мишенькина и др. [14], Е.Е. Золотова, В.А. Ракитова [7], А.Р. Sorokin, T.V. Artyomenko [27], Г.Л. Кирилловой [10], А.П. Сорокина, Ю.Ф. Малышева и др. [21] и др.

Согласно современным представлениям, развитие Зейско-Буреинского бассейна проходило в три этапа: рифтогенный, платформенный и неотектонический. С ранним, рифтогенным этапом связано формирование бассейна с образованием в пределах Амурского композитного массива [4] близмеридиональных депрессионных систем (Приамурской, Зейско-Селемджинской, Екатеринославской и Архаринской), представлявших русловые ложбины магистральных палеоводотоков – Амура, Зеи и Завитой. Наиболее ранняя седиментация в этих депрессиях в средней и поздней юре представлена конгломератами, песчаниками екатеринославской свиты, а в раннем мелу – песчаниками, глинами, конгломератами и эффузивами основного, среднего и кислого состава итикутской и поярковской свит.

Дальнейшее развитие Зейско-Буреинского бассейна в платформенный этап (поздний мел–палеоцен) происходило в процессе расширения площади аккумуляции и формирования надрифтовых впадин, выходивших за пределы рифтовых долин, перекрывающая разделяющие их междуречные пространства – Завитинско-Майкурское и Благовещенское холмогорья. Седиментация завитинской и цагайской свит платформенного этапа, в пределах бывших рифтовых долин, характеризовалась песчано-гравийным разрезом повышенной, а на их периферии – песчано-глинистыми осадками пониженной мощности.

Завершающий, неотектонический этап (эоценоантропоген) происходил в условиях дальнейшего на-

ращивания областей аккумуляции песчано-галечных и глинисто-алевритовых отложений райчихинской, мухинской, бузулинской, сазанковской и белогорской свит. Характерной чертой этого этапа является резкое смещение области накопления глинисто-алевритовых отложений к внешнему обрамлению бассейна с образованием вдоль него, в пределах предгорных прогибов, обширных угленосных площадей, нередко совмещенных с дельтами водотоков, дренировавших горно-складчатые сооружения.

Таким образом, особенности геодинамического режима и палеогеографических обстановок Зейско-Буреинского бассейна обусловили существенные различия в условиях формирования и его строения. Рифтогенные системы – это области устойчивого прогибания, а разделяющие их площади – участки формирования платформенных отрицательных структур с меньшими амплитудами погружения. Последние из них в направлении к внешнему горно-складчатому обрамлению сменяются наиболее молодыми предгорными депрессиями неотектонического этапа (рис. 1).

ИСХОДНЫЙ ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Авторами в течение 2010–2012 гг. проведены исследования методом магнитотеллурического зондирования Нижнезейского бассейна по четырем субширотным профилям: г. Благовещенск–п. Лондоко, с. Красное–с. Рошино (2010 г.), с. Корфово–с. Асташиха (2011 г.) и г. Благовещенск–с. Черемхово–с. Екатеринославка–с. Верхнеильиновка (2012 г.) (рис. 1). Геофизические работы сопровождались газогеохимическим опробованием.

Работы 2010–2011 гг. показали высокую эффективность метода МТЗ в изучении строения литосферы, осадочного чехла и фундамента бассейна, по результатам которых были построены геоэлектрические разрезы протяженностью от 30 до 300 км для глубин 2 и 200 км [8, 19]. Информативными оказались и газо-геохимические исследования, отчетливо зафиксировавшие связь аномалий гелия, водорода, метана и углеводородов с ослабленными зонами, служившими каналами для дегазации недр. На геоэлектрических разрезах они выделяются по зонам пониженного электрического сопротивления [20].

В 2012 г. вышеприведенные работы были продолжены севернее по профилю г. Благовещенск–с. Черемхово–с. Екатеринославка–с. Верхнеильиновка протяженностью 170 км (рис. 1). Исследования выполнялись по ранее апробированной методике с регистрацией электромагнитного поля в высокочастотном диапазоне $10^4 \div 1$ Гц с шагом 1 км и в широком частотном диапазоне $10^4 \div 4 \cdot 10^{-4}$ Гц с шагом 5–6 км. В первом диапазоне они проведены в центральной части

*Здесь и далее ссылки типа «И.Н. Сулимов (1961 г.)» отсылают к рукописным работам, которые находятся в ФБУ «ТФГИ» по Дальневосточному федеральному округу (г. Хабаровск), Амурском филиале ФБУ «ТФГИ» (г. Благовещенск).

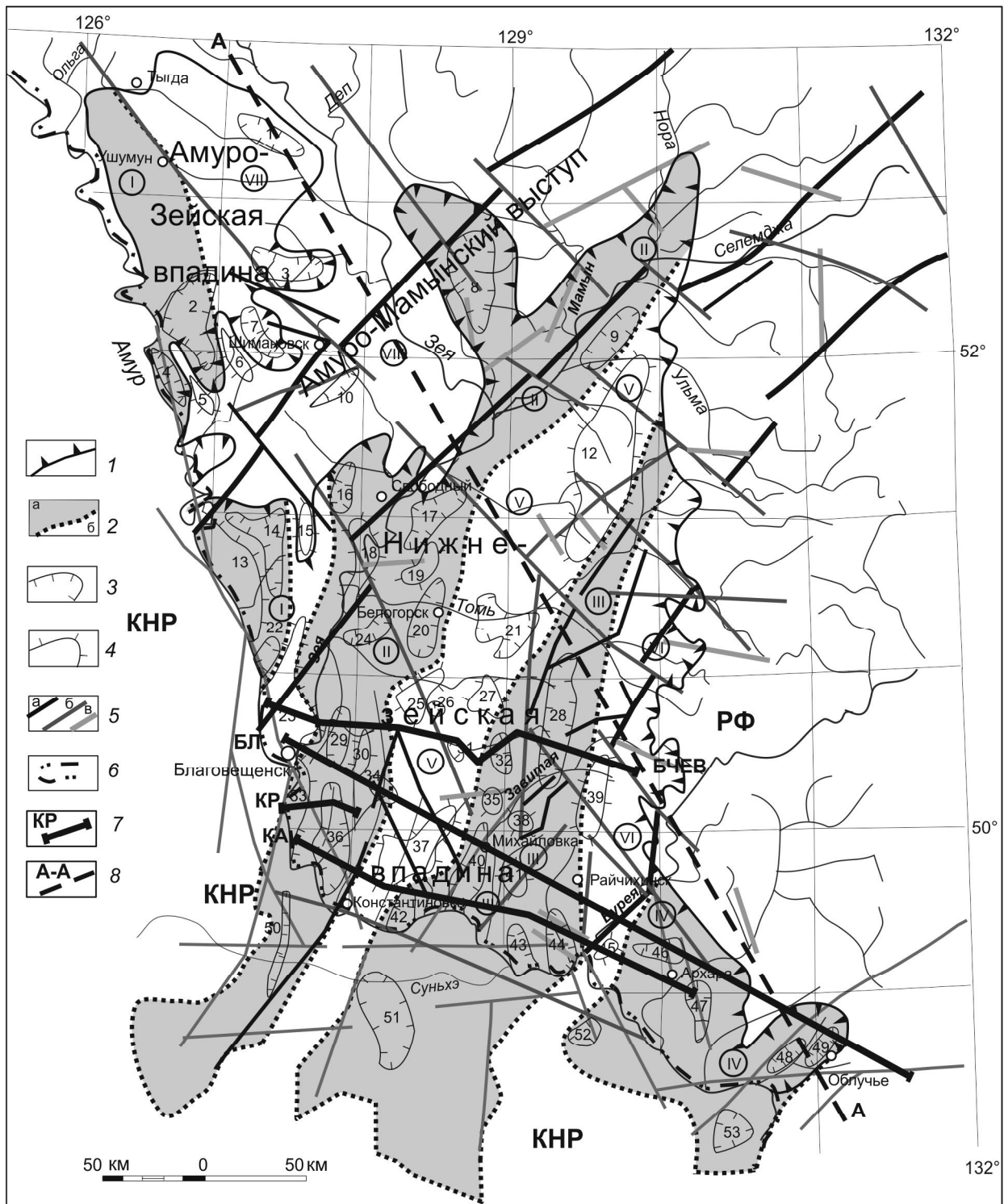


Рис. 1. Тектоническая схема Зейско-Буреинского бассейна [25, 27].

1 – граница Зейско-Буреинского бассейна; 2 – границы отрицательных (а) и положительных (б) структур III порядка в составе Амуро-Зейской и Нижнезейской областей прогибания (II порядка); 3–4 – границы прогибов и поднятий IV порядка; 5 – разломы: структурные швы (а) генеральные (б) и региональные (в); 6 – граница Российской Федерации проходит по р.Амур; 7 – профили МТЗ: БЛ – г. Благовещенск–п. Лондоко; КР – с. Красное–с. Рошино; КА – с. Корфово–с. Асташиха; БЧЕВ – г. Благовещенск–с. Черемхово–с. Екатеринославка–с. Верхнеильиновка; 8 – сейсмический профиль МОВЗ–ГСЗ г. Тында–п. Амурзет [7]. Цифры на схеме. Депрессионные зоны III порядка: I – Приамурская; II – Зейско-Селемджинская; III – Екатеринославская; IV – Архаринская. Положительные структуры III порядка: V – Завитинско-Майкурская; VI – Притуранская; VII – Тыгдинская; VIII – Амуро-Мамынская. Структуры IV порядка. Поднятия: 5 – Алексеевское, 6 – Новогеоргиевское, 12 – Майкурское, 13 – Петропавловское, 15 – Ко-

профиля, на участке с. Черемхово–с. Екатеринославка (пункты 3А ÷ 92М), а на периферийных участках профиля – с шагом 5–10 км и регистрацией поля в диапазоне $10^4 \div 4 \cdot 10^4$ Гц. Измерения выполнялись цифровой 24-разрядной станцией MTU-5A производства фирмы Phoenix (Канада) с индукционными магнитными датчиками АМТС-30 и МТС-50. Индукционные датчики и электрические линии устанавливались на местности согласно инструкции в азимутах север-юг – X-компонента, запад-восток – Y-компонента. Длина электрических линий равнялась 70 метрам, в качестве заземлителей использовались слабополяризующиеся угольные электроды. Время регистрации электромагнитного поля составляло около 35–40 минут с датчиками АМТС-30 и 14–18 часов с датчиками МТС-50. После регистрации на точке осуществлялся визуальный контроль качества полевой записи и ее предварительная обработка с использованием программного пакета SSMT2000. При необходимости производился повторный замер.

В результате проведенных работ были получены полевые материалы хорошего качества за исключением отдельных зондирований, которые были подвержены влиянию индустриальных помех от близлежащих населенных пунктов. Окончательная обработка полевых материалов осуществлялась в камеральных условиях с использованием программы Соггестор (фирмы «Северо-Запад», Москва). С помощью данной программы производилось удаление выбросов значений и сглаживание импедансных кривых МТЗ.

Для анализа магнитотеллурических данных использовались пространственные характеристики тензора импеданса: форма амплитудных и фазовых кривых, полярные диаграммы основного и дополнительного импедансов, позволяющие оценить размерность геоэлектрического разреза в пункте наблюдения, значения параметров неоднородности – N, представляющего степень горизонтальной геоэлектрической неоднородности, и асимметрии – skew, показывающего степень отклонения среды от двумерно-однородной или осесимметричной [1].

$$N = (Z_{xy} - Z_{yx}) / (Z_{xy} + Z_{yx}), \quad (1)$$

$$\text{skew} = |(Z_{xx} + Z_{yy}) / (Z_{xy} - Z_{yx})|, \quad (2)$$

где: Z_{xy} , Z_{yx} – основные импедансы, Z_{xx} , Z_{yy} – дополнительные импедансы.

Широтные и меридиональные амплитудные кривые МТЗ на большинстве пунктов совпадают друг с другом и имеют форму полого ниспадающей ветви, лежащей в диапазоне сопротивлений 100–10 Ом·м. В восточной части рассматриваемого профиля, примерно с пункта №70, наклон кривых увеличивается и они лежат в диапазоне сопротивлений 1000–10 Ом·м. В правой части кривых, в диапазоне периодов $0.1 \div 1$ с, отмечается минимум с последующей восходящей ветвью. В центральной части кривых, примерно между 0.001 и 0.1 с, на большинстве из них отмечается локальный максимум.

Форма полярных диаграмм на большинстве пунктах зондирования имеет форму круга для основного импеданса и небольшие значения дополнительного импеданса, а величина параметров N и skew не превышает величину 0.3, что позволяет выполнить интерпретацию кривых МТЗ в рамках одномерной модели. Интерпретация кривых МТЗ проводилась с использованием программы MTS-Prof INV фирмы «Северо-Запад» (г. Москва). В результате были построены геоэлектрические разрезы до глубины 3 км.

Петрографические, петрофизические, гравиметрические, сейсмометрические данные, с учетом результатов глубокого бурения, дают возможность разработать критерии разбраковки пород осадочно-вулканического (преимущественно осадочного) чехла, рифтогенного, платформенного и неотектонического комплексов и фундамента. Породы комплексов осадочного чехла выделяются на геоэлектрических разрезах в зависимости от степени интеграции и выветривания. В рифтогенном комплексе значения электрического сопротивления варьируют от первых сотен до 15–20 Ом·м за счет присутствия в разрезе вулканических пород (риолитов, базальтов и др.). Повышенными значениями, до первых сотен Ом·м, отмечаются базальты и кислые эффузивы итикутской свиты, а также конгломераты поярковской свиты, хотя их минимальные значения составляют первые десятки Ом·м. Но учитывая, что электрическое сопротивление основной части разреза (песчаников, алевролитов и глин) колеблется от первых единиц до 10–15 Ом·м,

стюковское, 18 – Лебяжье-евское, 19 – Борисопольское, 23 – Благовещенское, 25 – Николаевское, 27 – Поздеевское, 30 – Успенское, 33 – Гродековское, 35 – Западно-Албазинское, 37 – Полтавско-Ильиновское, 38 – Восточно-Албазинское, 39 – Тюканское, 41 – Воскресеновское, 45 – Украинское. Прогибы: 1 – Усть-Тыгдинский, 2 – Тараконский, 3 – Мухинский, 4 – Кумаро-Ушаковский, 7 – Актайский, 8 – Гарьский, 9 – Колмогоровский, 10 – Каменско-Селетканский, 11 – Корсаковский, 14 – Сычевский, 16 – Спасовский, 17 – Сапроновский, 20 – Белогорский, 21 – Ромненский, 22 – Сергеевский, 24 – Комиссаровский, 26 – Константиноградский, 28 – Романовский, 29 – Дмитриевский, 31 – Песчаноозерский, 32 – Екатеринославский, 34 – Козьмодемьяновский, 36 – Лермонтовский, 40 – Михайловский, 42 – Новопетровский, 43 – Куприяновский, 44 – Асташихинский, 46 – Архаринский, 47 – Южно-Архаринский, 48 – Мутнинский, 49 – Удурчуканский, 50 – Сунь, 51 – Джанхэ, 52 – Фужао, 53 – Цзяинь.

общий фон подзон комплекса нивелируется до рамок 40–50÷10–15 Ом·м. Близкими к ним значениями (10–15 Ом·м) характеризуются осадочные образования платформенного комплекса. Как и в работе [9], за максимальное значение электрического сопротивления осадочных образований принимаем величину 30 Ом·м.

Электрическое сопротивление пород фундамента отмечается большей дифференциацией. Кварциты и пегматиты имеют сопротивление в первые тысячи Ом·м, кварцевые порфиры, базальты и граниты – первые сотни Ом·м, а выветрелые граниты, гранит-порфиры, гнейсы, туфобрекчии – первые десятки Ом·м.

Приведенные различия в величинах электрического сопротивления пород фундамента и перекрывающих их рифтогенного, платформенного и неотектонического комплексов, с учетом других геофизических и геологических данных, позволяют довольно уверенно проводить интерполяцию их на геоэлектрических профилях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МТЗ ПО ПРОФИЛЮ г. БЛАГОВЕЩЕНСК–с. ЧЕРЕМХОВО–с. ЕКАТЕРИНОСЛАВКА–с. ВЕРХНЕИЛЬИНОВКА

Рассматриваемый профиль МТЗ пересекает центральную часть Нижнезейского бассейна, охватывая крупнейшие прогибы – Дмитриевский, Козьмодемьяновский и Екатеринославский (рис. 2). Центральная часть профиля (с. Черемхово–с. Екатеринославка) построена по результатам интерпретации зондирований, выполненных с шагом 1 км (рис. 2 а). Разрез дает детальное представление о строении осадочного чехла, глубине залегания фундамента бассейна и хорошо согласуется со структурами Зейско-Буреинского бассейна (рис. 1).

В процессе работы был проведен дополнительный эксперимент. Профиль был расширен на запад (до г. Благовещенска) и на восток (до с. Верхнеильиновка), и геоэлектрический разрез построен по результатам МТЗ, выполненных с шагом 5–10 км (рис. 2 б).

При сопоставлении этих разрезов можно отметить, что на разрезе (рис. 2 б) более отчетливо проявилась общая структура бассейна. Здесь контрастно проявились выступы фундамента, горизонтально-слоистое строение осадочного чехла, и элементы разломной тектоники. При увеличении шага зондирований исчезли некоторые элементы, такие как, например, Успенское поднятие и выступ фундамента в Екатеринославском прогибе. В то же время, проявилось трехслойное строение осадочного чехла, соответствующее рифтогенному, платформенному и неотектони-

ческому комплексам. Последний из них представляет собой горизонт с сопротивлением менее 10 Ом·м на глубинах в первые сотни метров (рис. 2 в). Он не имеет сплошного распространения и прослеживается отдельными фрагментами протяженностью до нескольких десятков километров. В восточной части геоэлектрических разрезов (рис. 2 а и 2 б) этот фрагмент выделяется в пределах пунктов № 60–№ 70, в предгорьях Туранского поднятия. Разрез его представлен грубообломочными отложениями (до 200 м) – продуктами сноса с вышеуказанного горного сооружения за счет плоскостного смыва и выноса осадков речными системами. Фрагменты неотектонического комплекса на западном окончании разреза, в зоне сопряжения с Благовещенским выровненным холмогорьем, характеризуются более тонким составом отложений.

Кроме этих особенностей, следует также отметить наличие на рис. 2 б геоэлектрической неоднородности, расположенной в фундаменте под Екатеринославским прогибом, которая представляет собой узкую субвертикальную зону пониженного сопротивления, рассекающую высокоомные породы фундамента и, вероятно, связанную с глубинным разломом.

Таким образом, сравнение результатов МТЗ, выполненных с различным шагом наблюдения (рис. 2 а и 2 б), дает не только сопоставимые между собой геоэлектрические разрезы, но и в каждом случае несет новую информацию.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МТЗ ПО ПРОФИЛЯМ 2010–2011 ГГ. И 2012 Г.

Зейско-Селемджинскую депрессионную зону пересекают три профиля МТЗ: с. Красное–с. Рошино [20], с. Корфово–с. Асташиха [9] и с. Черемхово–с. Екатеринославка. Первые два профиля охватывают Лермонтовский, а последний – Дмитриевский прогибы. Рассмотрим детально их геоэлектрические и геолого-геофизические разрезы (рис. 3). В восточной части Лермонтовского прогиба (рис. 3 а) мощность чехла составляет 1.5–2 км при горизонтальном залегании слоев, а в центре выделяется выступ фундамента с понижением мощности чехла до 1 км. На следующем рисунке (3 б) мощность осадков по изолинии 30 Ом·м достигает до 2.5 км при сохранении в центре прогиба выступа фундамента. Прогиб ограничен субвертикальными разломами.

Расположенный севернее Дмитриевский прогиб отличается от вышеприведенного более простым строением и представляет собой область низкого сопротивления (менее 10 Ом·м) с мощностью чехла 1.5–2 км, ограниченную разломами, причем восточная граница в геоэлектрическом разрезе выражена более контрастно по сравнению с западной (рис. 3 в).

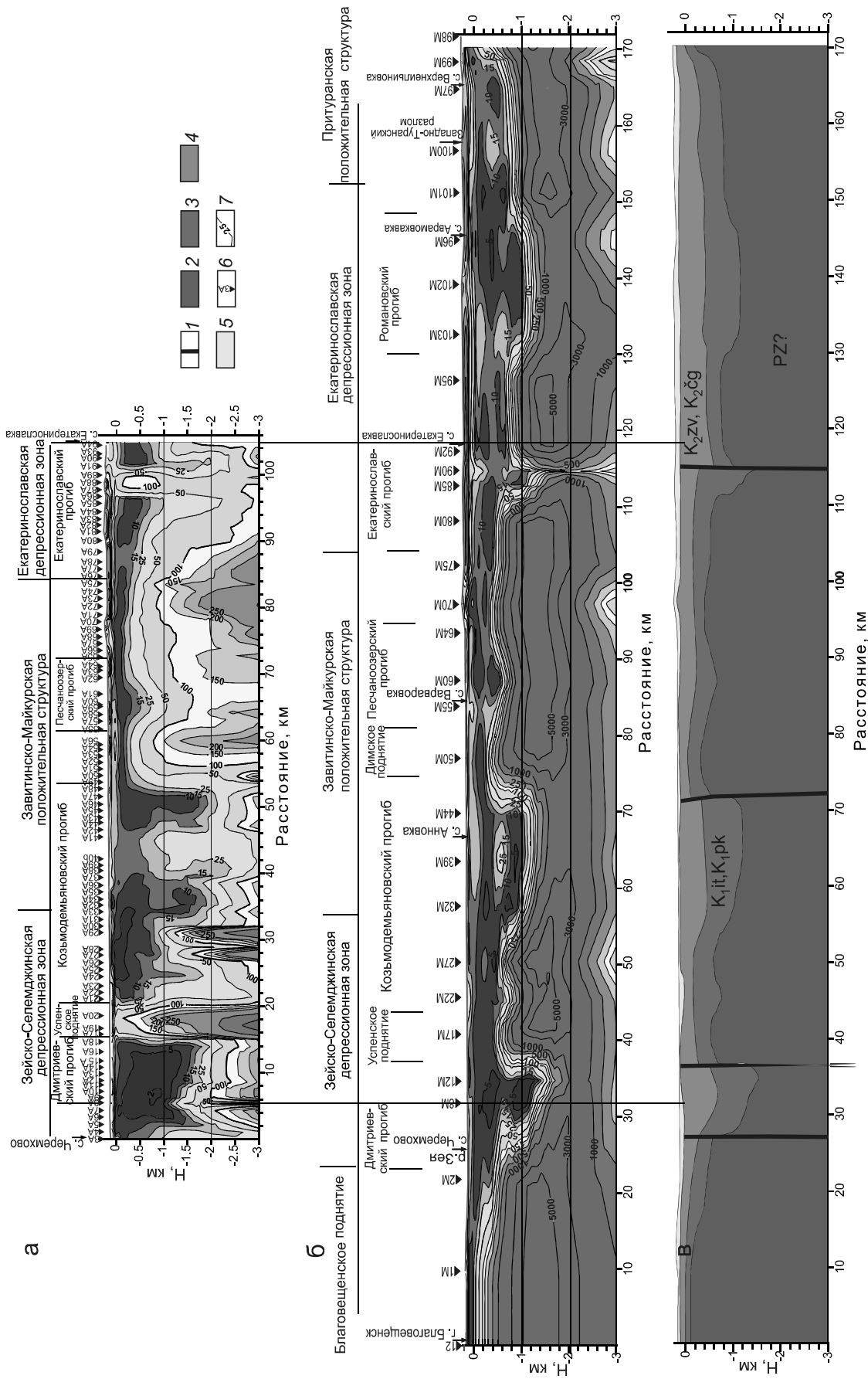


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы по данным МТЗ профилей: а – Черемхово–с. Благовещенск–с. Верхнеильиновка, в – геолого-геофизический разрез по профилю г. Благовещенск–с. Верхнеильиновка. 1 – разрывные нарушения; 2 – домезозойский фундамент (PZ?); 3 – породы рифтогенного комплекса (К₁, it – итигукская, К₁, pk – поярковская свиты); 4 – породы платформенного комплекса (К₂zv – завитинская, К₂cg – цаганская свиты); 5 – породы неотектонического комплекса (P-Q – райчихинская, мухинская, бузулинская свиты и четвертичные отложения); 6 – пункты МТЗ и их номера; 7 – изолинии удельного электрического сопротивления в Ом·м.

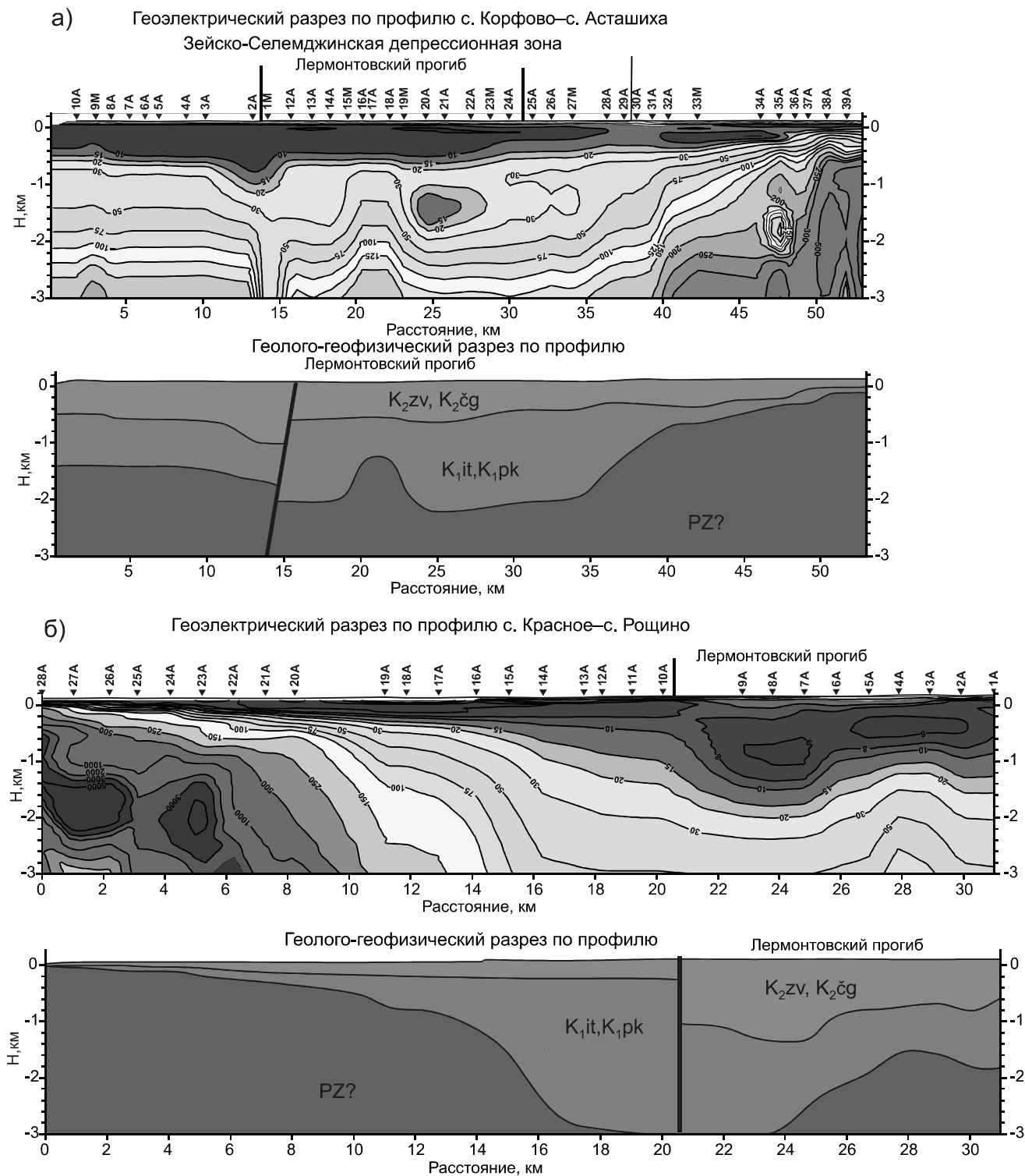


Рис. 3. Геолого-геофизические разрезы прогибов Зейско-Селемджинской депрессионной зоны: а), б) – Лермонтовский прогиб ([9, 19]; в) – Дмитриевский прогиб.

1 – разрывные нарушения; 2 – домезозойский фундамент (PZ?); 3 – породы рифтогенного комплекса (K_{1it} – итикутская, K_{1pk} – поряковская свиты); 4 – породы платформенного комплекса (K_{2zv} – завитинская, K_{2cg} – цагайская свиты); 5 – породы неотектонического комплекса (P-Q – райчихинская, мухинская, бузулинская свиты и четвертичные отложения); 6 – пункты МТЗ и их номера; 7 – изолинии удельного электрического сопротивления в Ом·м.

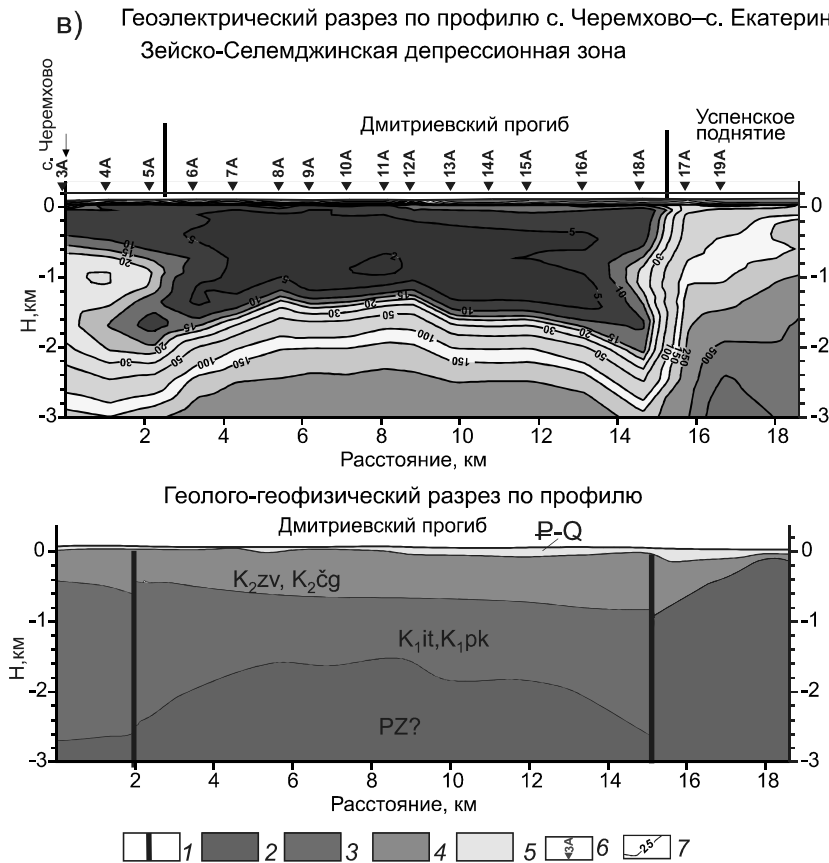


Рис. 3. Продолжение.

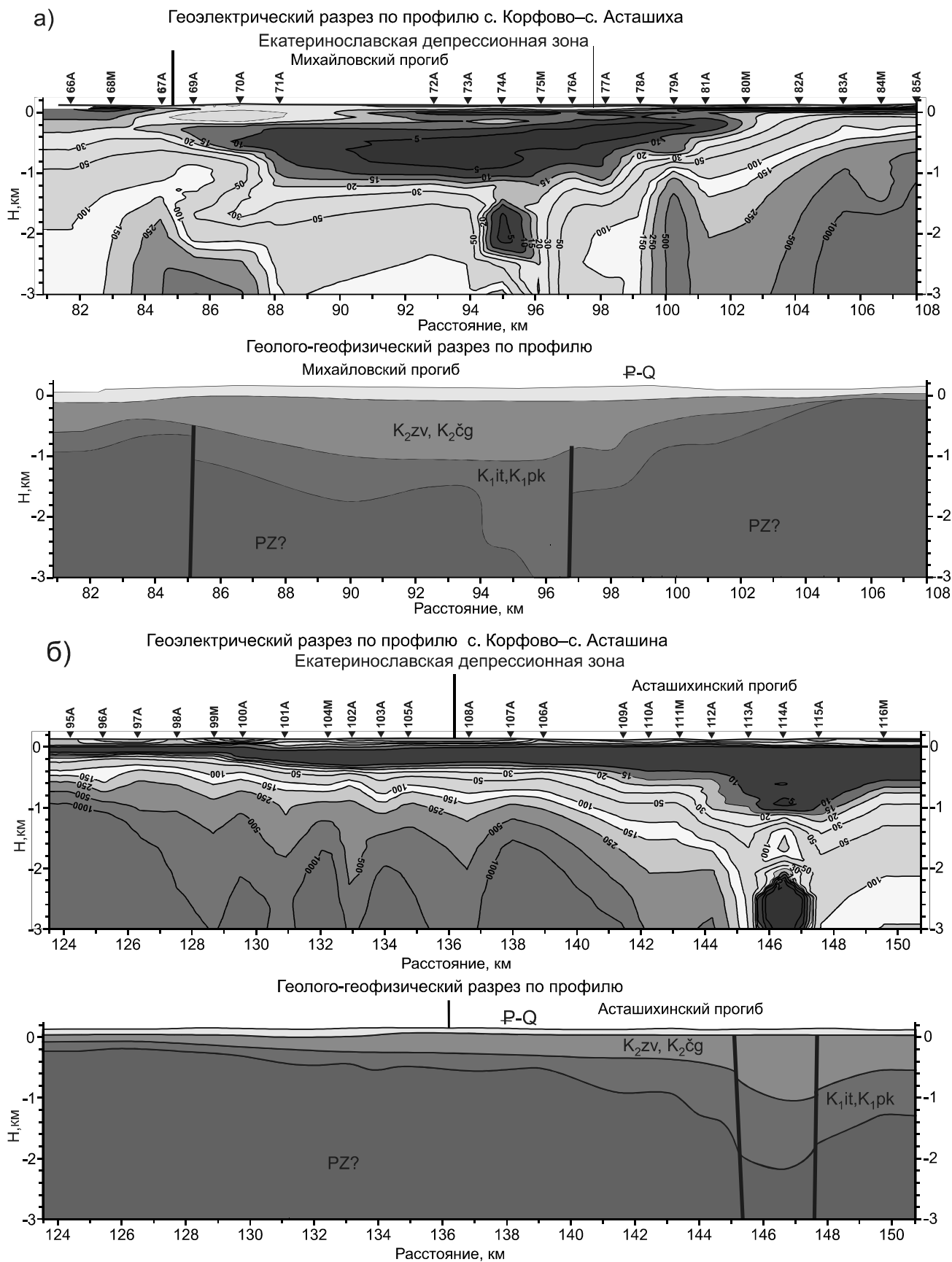
В Екатеринославской депрессионной зоне на геоэлектрических разрезах (рис. 4) выделяются Михайловский (рис. 4 а), Асташихинский (рис. 4 б) и Екатеринославский прогибы (рис. 4 в). Первые из них расположены по периферии депрессии и отделены друг от друга поднятиями фундамента. Борта прогибов, с обрамляющими их поднятиями, пологие, но в центральных их частях выделяются геоэлектрические неоднородности пониженного сопротивления в фундаменте, что, вероятно, связано с существованием разломов. Здесь же отмечается наибольшая мощность низкоомных образований в прогибах. В Михайловском и Асташихинском прогибах по изолинии 30 Ом·м она составляет около 1,5 км. Западный борт Михайловского прогиба характеризуется сложным строением с наклонным залеганием осадочного чехла и постепенным воздыманием слоев на восток. Чехол Асташихинского прогиба характеризуется более однородным строением и горизонтально-слоистым залеганием пород.

Строение Екатеринославского прогиба (рис. 4 в) отличается от других наличием в его центральной части выступа фундамента, почти выходящего на по-

верхность, который разделяет осадочный чехол на две части. Границы выступа субвертикальные и, вероятно, ограничены разломами. Строение осадочного чехла однородное, залегание субгоризонтальное, мощность около 1,5 км.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАГЕНИИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЗЕЙСКО-БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА

Рассматриваемый бассейн обладает крупным ресурсным потенциалом, формирование которого во многом определялось геодинамическими, структурными, палеогеографическими и другими факторами. Они обусловили образование разновозрастных морфологически разнотипных крупных депрессионных систем, включающих низкопорядковые структуры (прогибы, поднятия). Выполненные авторами исследования методом МТЗ и комплексирование с другими геолого-геофизическими методами позволяет достаточно уверенно расшифровать морфологию изученных объектов, их внутреннее строение, глубину залегания фундамента и, в отдельных случаях, выделить области возможной локализации целого ряда полезных ископаемых.



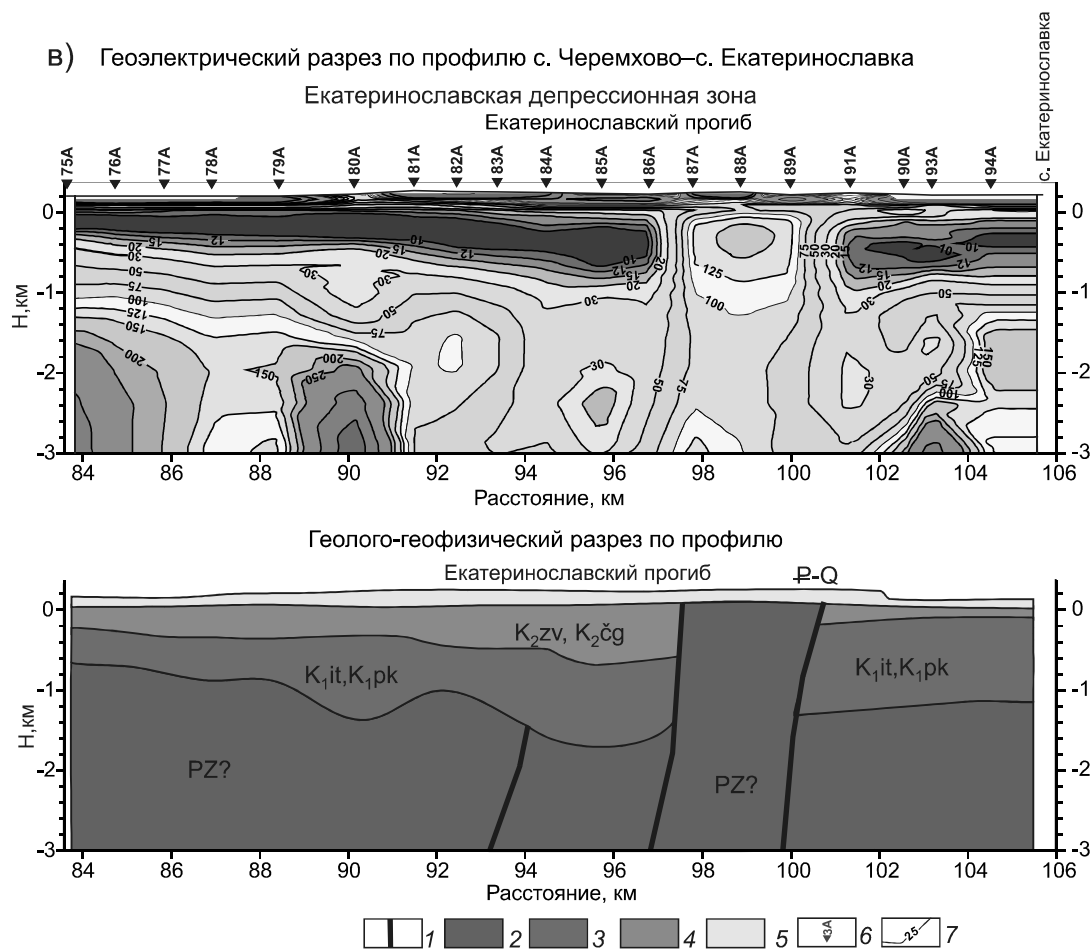


Рис. 4. Геолого-геофизические разрезы прогибов Екатеринославской зоны: а – Михайловский прогиб (Каплун, 2013); б – Асташихинский прогиб (Каплун, 2013); в – Екатеринославский прогиб.

1 – разрывные нарушения; 2 – домезозойский фундамент (PZ?); 3 – породы рифтогенного комплекса (K_{1it} – итикутская, K_{1pk} – поярковская свиты); 4 – породы платформенного комплекса (K_{2zv} – завитинская, K_{2cg} – цагаянская свиты); 5 – породы неотектонического комплекса (P-Q – райчихинская, мухинская, бузулинская свиты и четвертичные отложения); 6 – пункты МТЗ и их номера; 7 – изолинии удельного электрического сопротивления в Ом.м.

Нефть и газ

Изучение нефтегазоносности Зейско-Буреинского бассейна продолжается уже более пятидесяти лет. Одно из последних исследований выполнено в 2011 г. коллективом авторов ИНГГ СО РАН, АмурНЦ и ИГиП ДВО РАН под руководством и активным участием академика А.Э. Конторовича (Шапорина и др., 2011 г.). В работе проведено обобщение геолого-геофизических материалов, построена модель Зейско-Буреинского бассейна и выполнена оценка перспектив нефтегазоносности.

Авторы настоящей статьи посчитали возможным провести сравнительный анализ ряда структурных построений, проведенных по легендам, принятым в ИНГГ СО РАН (рис. 5) [11], с таковыми, полученными с помощью метода МТЗ. А.Э. Конторович, А.П. Сорокин с авторами [11] на основании результа-

тов анализа модели геологического строения и палеогеографии изученного бассейна в разрезе последнего выделили единый юрско-нижнемеловой перспективный рифтогенный комплекс, в котором региональным флюидоупором служат аргиллиты поярковской свиты в Зейско-Селемджинской и Екатеринославской депрессионной зонах. Осадочные образования екатеринославской и итикутской свит образуют проницаемый комплекс. Строение турон-нижнепалеоценовых разрезов бассейна позволяет рассматривать отложения этого возраста в депрессионных зонах как еще один сложно построенный, потенциально перспективный комплекс.

Систематизация геолого-геофизических данных и построенная геологическая модель позволили создать основу для нефтегазогеологического районирования Зейско-Буреинского бассейна и выде-

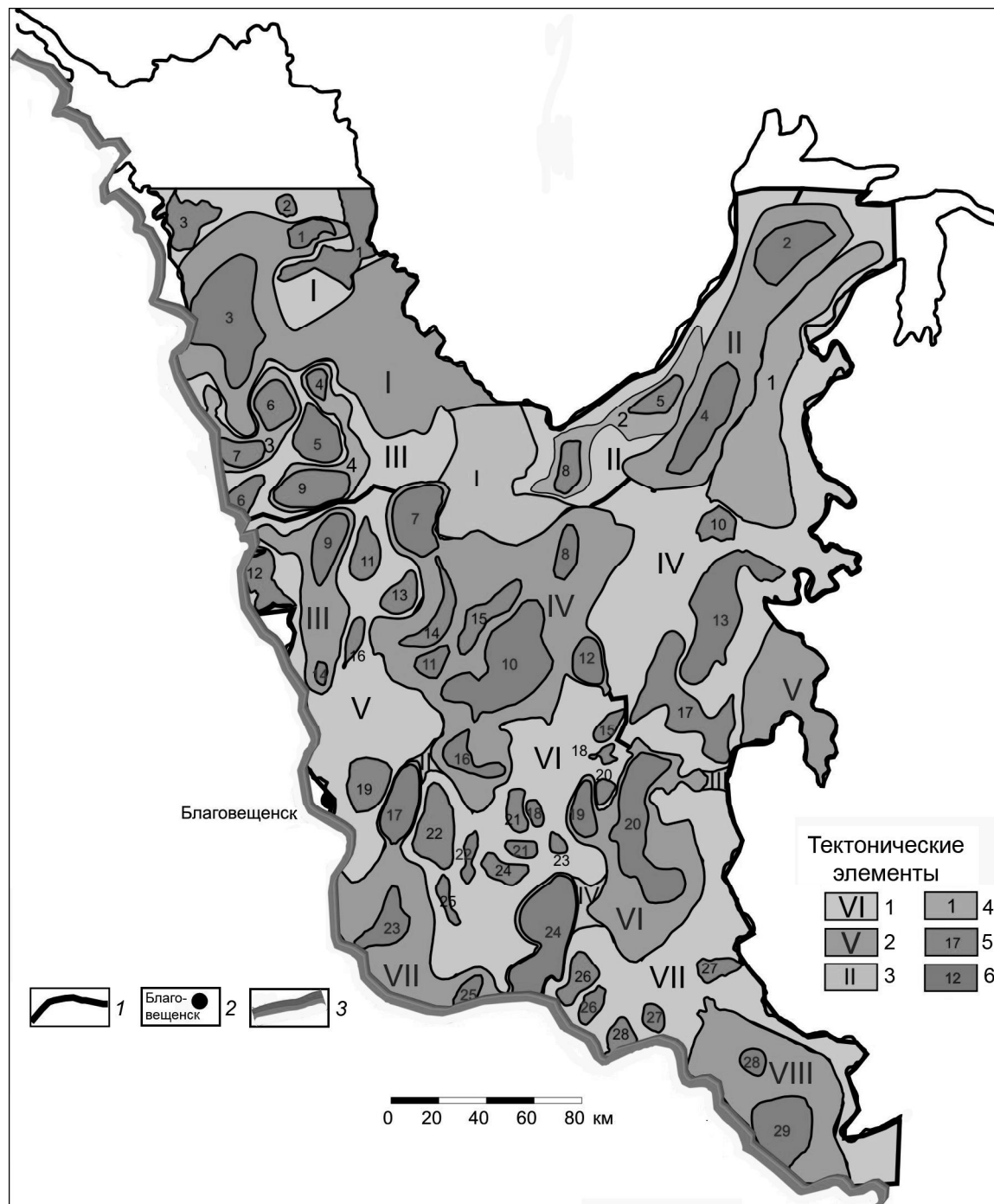


Рис. 5. Тектоническая карта Зейско-Буреинского осадочного бассейна по кровле фундамента (составили: А.Э. Конторович, М.Н. Шапорина, С.Ю. Беляев, А.П. Сорокин).

I – границы осадочных бассейнов, 2 – населенные пункты, 3 – граница Российской Федерации. Тектонические элементы: 1 – поднятия I порядка: I – Тыгдинский свод, II – Орловский мегавал, III – Южно-Шимановский мегавал, IV – Притуранский мегавал, V – Благовещенско-Костюковский мегавал, VI – Завитинский свод, VII – Нижнебурейский мегавал; 2 – прогибы I порядка: I – Шимановский мегапрогиб, II – Селемджинский мегапрогиб, III – Сычевско-Сергеевский мегапрогиб, IV – Белогорско-Сапроновская мегавпадина, V – Алеунская мегавпадина, VI – Романовско-Екатеринославская мегавпадина, VII – Лермонтовско-Дмитриевский мегапрогиб, VIII – Архаринская мегавпадина; 3 – седловины: I – Северная седловина, II – Константиноградовская седловина, III – Восточная седловина, IV – Северо-Воскресенская седловина; 4 – поднятия II порядка: 1 – Майкурский мезовал, 2 – Норский мезовал, 3 – Алексеевско-Новогеоргиевский мезовал, 4 – Восточно-Актайский мезовал; 5 – поднятия III порядка: 1 – Без названия 1 вал, 2 – Без названия 2 купольное поднятие (кп.), 3 – Без названия 3 кп., 4 – Без названия 4 кп., 5 – Майский вал, 6 – Новогеоргиевское кп., 7 – Алексеевское кп., 8 – Мазановский вал, 9 – Иннокентьевское кп., 10 – Майкурское кп., 11 – Костюковский вал,

лить 6 мезорайонов: Сычевский, Белогорско-Сапроновский, Романовско-Екатеринославский, Лермонтовско-Дмитриевский, Михайловский, Архаринский (табл.). Из вышеуказанных четыре мезорайона, в которых мощность юрско-мелового осадочного чехла превышает 2000 м, отнесены к первой категории. Один нефтегазоперспективный мезорайон, в котором мощность составляет 1500–2000 м, отнесен ко второй, а другой (менее 1500 м) – выделен в третью категорию [11].

Бурые угли

Зейско-Буреинский угленосный бассейн включает крупнейший на Дальнем Востоке топливно-энергетический комплекс, разведанный потенциал которого значительно превышает таковой Забайкальского, Хабаровского, Приморского краев и Сахалина. Основные ресурсы бассейна составляют бурые угли палеогенового и миоценового возраста, первые из которых связаны с формированием платформенного, вторые – неотектонического комплексов. В пределах последнего к концу кайнозоя были сформированы огромные угленосные площади: Ольгинская, Сивакско-

Ульминско-Мухинско-Берейская, Климоуцевско-Семеновско-Юхтинская и др., включающие целый ряд месторождений и проявлений [13] (рис. 6).

Принципиальное их сходство – приуроченность наиболее угленасыщенных стратиграфических подразделений палеогена, раннего и среднего миоцена к периферии Зейско-Буреинского бассейна. Непосредственно на участках сопряжения последнего с областями сноса внешнего обрамления – Большехинганского, Малохинганского и Туранского поднятий, в предгорных прогибах развиты наиболее молодые – ранне-среднемиоценовые угленосные отложения. Фронт олигоценного накопления смещен к центральной части бассейна, формируя угленосные площади на склонах, полностью или частично погребенных внутренних поднятий (Амуро-Мамынского, Завитинско-Майкурского и др.).

Следует отметить еще одну важную минерагеническую особенность. На периферии Большехинганского, Янкано-Тукурингро-Джагдинского и Туранского горно-складчатых сооружений, в предгорных прогибах, широко развиты миоценовые и четвертичные россыпи золота, формируя протяженные Южно-Тукурингскую и Притуранскую золотоносные провинции [18]. Они связаны с дельтами речных систем рр. Олдой, Деп, Томь и др. этого же возраста, дренирующих вышеприведенные поднятия. В зоне сопряжения золотоносных провинций и угленосных площадей происходило обогащение кайнозойских торфяников благородными, редкими и редкоземельными металлами [22]. Эти события были связаны с различными механизмами и условиями транспортировки: в виде растворенных подвижных форм элементов, переносимых поверхностными водами из зон гипергенеза рудных залежей, минерализованными подземными водами; а также форм, поглощенных и сорбируемых растениями-углеобразователями и органическим веществом каустобиолитов угольного ряда (как геохимический барьер); кластогенных и ультратонких частиц в ассоциации с минералами глин, переносимых водотоками, дренировавшими области сноса, и воздушными массами и др.

Таблица. Интервальная (R = 0.7) оценка объема осадочно-выполнения мезозойско-кайнозойского комплекса на территории Зейско-Буреинской нефтегазонаосной области.

№ п/п	Мезорайоны	Максимальная мощность осадков, км	Площадь, тыс. км ²	Объем осадочного выполнения, тыс. км ³
1	Сычевский	2.1	1.5	1.5
2	Белогорско-Сапроновский	2.9	4.1	5.7
3	Романовско-Екатеринославский	2.4	3.8	3.3
4	Лермонтовско-Дмитриевский	3.1	2.7	4.2
5	Михайловский	1.9	1.6	1.4
6	Архаринский	1.4	2.5	1.4

12 – Петропавловский вал, 13 – Сазановское купольное поднятие, 14 – Лебяжьевское кп., 15 – Бориспольское кп., 16 – Гуранский вал, 17 – Горбыльский вал, 18 – Поздеевское кп., 20 – Борисовское кп., 21 – Верхнезавитинский вал, 22 – Успенское кп., 23 – Западно-Албазинское кп., 24 – Максимовский вал, 25 – Полтавско-Ильинский вал, 26 – Воскресенское кп., 27 – Новобурейский вал, 28 – Калининское кп.; 6 – прогибы III порядка: 1 – Мухинский прогиб, 2 – Червинский прогиб, 3 – Тараконский прогиб, 4 – Колмогоровский прогиб, 5 – Актайская впадина, 6 – Корсаковский прогиб, 7 – Спасовская впадина, 8 – Сапроновский прогиб, 9 – Сычевский прогиб, 10 – Белогорский прогиб, 11 – Комиссаровская впадина, 12 – Ромненский прогиб, 13 – Ташинский прогиб, 14 – Сергеевская впадина, 15 – Томская впадина, 16 – Константиноградский прогиб, 17 – Дмитриевский прогиб, 18 – Песчаноозерский прогиб, 19 – Екатеринославский прогиб, 20 – Романовский прогиб, 21 – Ивановская впадина, 22 – Козьмодемьяновский прогиб, 23 – Лермонтовский прогиб, 24 – Михайловский прогиб, 25 – Новопетровский прогиб, 26 – Куприяновский прогиб, 27 – Асташихинская впадина, 28 – Архаринская впадина, 29 – Южно-Архаринская впадина.

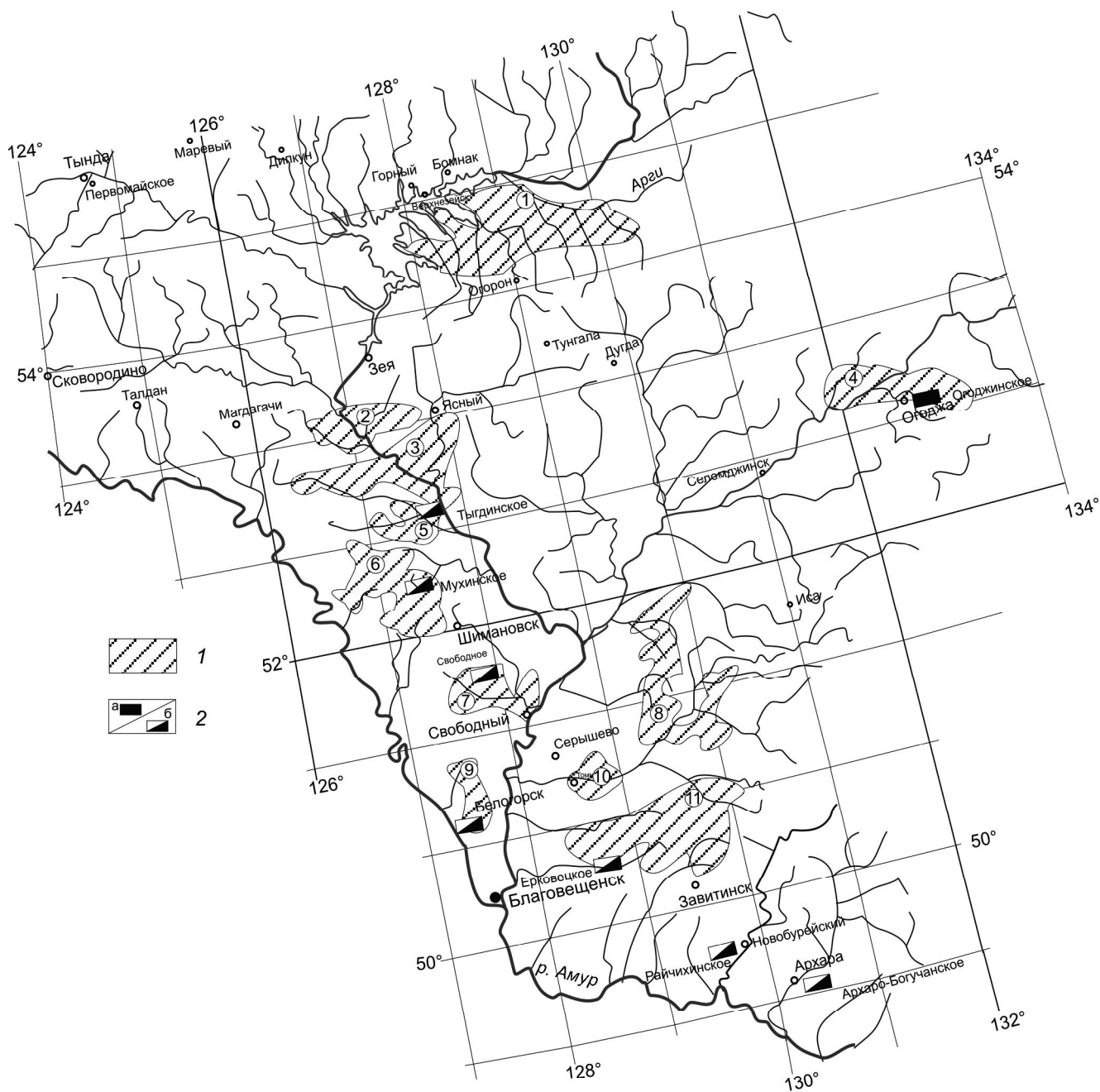


Рис. 6. Схема угленосности Верхнего Приамурья. Составили А.П. Сорокин, Ю.А. Агафонов (1986).

1 – угленосные площади (Верхнезейская, 2 – Пиканская, 3 – Делская, 4 – Гербикано-Огоджинская, 5 – Ольгинская, 6 – Сивакско-Ульминско-Мухинско-Бурейская, 7 – Климоуцевско-Семеновско-Юхтинская, 8 – Селемджино-Маргаритовско-Томская, 9 – Загорненско-Сергеевская, 10 – Белогорская, 11 – Ерковецко-Ромненско-Завитинская); 2 – месторождения углей: а – каменных, б – бурых.

В результате аналитических исследований установлено, что угленосные отложения Архаро-Богучанского, Райчихинского, Ерковецкого, Дармаканского месторождений характеризуются устойчиво высокими значениями благородных (до 1–2 г/т), редкометалльных и редкоземельных элементов: Au, Pt, Pd; Cs,

Rb, Hf, Ta, Nb, Sn, Th, Ti, Ga, Zr; REE (включая Sc и Y). Наличие подобного набора элементов известно в углях и продуктах их сжигания Павловского, Шкотовского и Бикинского месторождений Приморья, прогнозная оценка ресурсов которых дает возможность высоко оценивать их перспективность [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексирование МТЗ с другими геолого-геофизическими методами позволяет достаточно уверенно расшифровать морфологию изученных объектов, их внутреннее строение, глубину залегания фундамента и, в отдельных случаях, выделить области возможной локализации целого ряда полезных ископаемых.

Метод МТЗ в комплексе с газогеохимическим исследованием дает дополнительную информацию и при решении вопросов минерагении. В частности, это касается выделения высокопроницаемых зон, морфологии отрицательных структур, форм сопряжения в системе прогиб-поднятие и др.

Оценивая эффективность метода магнитотеллурического зондирования, следует отметить перспективность дифференцированного подхода в выборе шага измерений. Для региональных исследований крупных геологических структур достаточно применять интервал измерения в 5 км, а для детализации отдельных элементов – границ прогибов и поднятий, определения мощности чехла депрессий – весьма эффективно использование шага в 1 км.

Таким образом, указанные возможности метода МТЗ в конечном итоге позволяют существенно дополнить данные по строению Зейско-Буреинского бассейна и его минерагении. Кроме вышеуказанных видов полезных ископаемых он может быть использован и при выявлении целого ряда других полезных ископаемых (неметаллов, подземных вод и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. 680 с.
- Бернштейн Г.Л., Волхонин В.С., Горбачев И.Ф., Крупская Г.В., Мальденбаум М.М., Щербакова Б.Е. Геологическая структура Зейско-Буреинской впадины по результатам региональных геолого-геофизических работ // Геофизические исследования при решении геологических задач в Восточной Сибири. М: Недра, 1970. Вып. 4. С. 271–300.
- Вялов В.И., Кузванова Е.В., Нелюбов П.А., Змиевский Ю.П., Ключарев Д.С. Редкометалльно-угольные месторождения Приморья // Разведка и охрана недр. 2010. № 12. С. 53–56.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. / Под ред. акад. РАН А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
- Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1: 2 500 000. Объясн. зап. Санкт-Петербург-Благовещенск-Харбин, 1999. 135 с.
- Горбачев И.Ф., Тимофеев А.А. Стратиграфия меловых отложений Зейско-Буреинской впадины // Геология и палеогеографические условия формирования мезозойско-кайнозойских континентальных впадин южной части Дальнего Востока. М.: Наука, 1965. С. 94–106.
- Золотов Е.Е., Ракитов В.А. Структура литосферы Приамурья по данным МОВЗ-ГСЗ // Региональная геология и металлогения. 2000. № 2. С. 236–240.
- Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы Амурско-Зейского осадочного бассейна по профилю МТЗ г. Благовещенск–п. Биракан // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 41–53.
- Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы юга Амурско-Зейского осадочного бассейна по результатам магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 3–20.
- Кириллова Г.Л. Позднемезозойские-кайнозойские осадочные бассейны континентальной окраины юго-восточной России: геодинамическая эволюция, угле- и нефтегазоносность // Геотектоника. 2005. № 5. С. 62–82.
- Конторович А.Э., Сорокин А.П., Шапорина М.Н., Скузоватов М.Ю., Беляев С.Ю., Бурштейн Л.М., Артеменко Т.В. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Зейско-Буреинского осадочного бассейна (современная модель) // Нефтегазгеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса востока России: Материалы науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, ВНИГРИ, 17–21 июня 2013 г. СПб: ВНИГРИ, 2013. С. 130–135.
- Лишневецкий Э.Н., Степанов П.П. Основные черты тектоники центральной и южной частей Зейско-Буреинской депрессии // Геология и геофизика. 1963. № 5. С. 117–122.
- Минерально-сырьевая база Амурской области на рубеже веков / И.А. Васильев, В.П. Капанин, Г.П. Ковтонюк, В.Д. Мельников, В.Л. Лужнов, А.П. Данилов, А.П. Сорокин. Благовещенск, 2000. 168 с.
- Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Анненков В.В. Глубинное сейсмическое зондирование на Буреинском массиве // Геология и геофизика. 1987. № 10. С. 98–107.
- Петухов А.В. Условия нефтеобразования в мезозойских отложениях Зейско-Буреинской впадины: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. М., 1968. 305 с.
- Потапов С.В. Соотношение поверхностной и глубинной структуры земной коры Приамурья и Приморья // Глубинное строение литосферы Дальневосточного региона (по геофизическим данным). Владивосток, 1979. С. 43–53.
- Сорокин А.П. История геолого-геоморфологического развития Зейско-Буреинской впадины в мезозое и кайнозое: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, 1972. 25 с.
- Сорокин А.П., Глотов В.Д. Золотоносные структурно-вещественные ассоциации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1997. 304 с.
- Сорокин А.П., Каплун В.Б., Малышев Ю.Ф., Сорокина А.Т. Новые данные о глубинном строении, тектонике, минерагении Зейско-Буреинского бассейна. // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 6. С. 780–783.
- Сорокина А.Т., Каплун В.Б., Попов А.А., Серов М.А. Опыт комплексирования геофизических и газо-геохимических методов для изучения глубинного строения южной части Зейско-Буреинского бассейна // Вестн. ДВО. 2011. Т. 157, № 3. С. 52–55.
- Сорокин А.П., Малышев Ю.Ф., Каплун В.Б., Сорокина А.Т., Артеменко Т.В. Основные черты эволюции и глубинного строения Зейско-Буреинского и Сунляо осадочных бассейнов // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 2. С. 3–19.

22. Сорокин А.П., Чантурия В.Н., Рождествина В.И., Кузминых В.М., Жмодик С.М. Нетрадиционные типы благороднометалльного, редкометалльного и редкоземельного оруденения в угленосных бассейнах Дальнего Востока // Докл. РАН. 2012. Т. 446, № 6. С. 672–676.
23. Тарков А.П. Глубинное строение Зее-Буреинской равнины по данным геофизических исследований // Сов. геология. 1963. № 7. С. 90–104.
24. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центральноазиатского и Тихоокеанского поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте 1:1500000. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
25. Цао С.К., Кириллова Г.Л., Сорокин А.П., Каплун В.Б., Цао Х.С., Цю Ю., Чжан Ю.Дж. Строение, эволюция Сунью-Цзяинского бассейна Северо-Восточного Китая и его связь со структурами Зейско-Буреинского бассейна российского Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 6. С. 68–78.
26. Шатков Г.А., Бабаев А.О., Максимовский В.А., Пуринг В.В. Тафrogenный комплекс Амуро-Зейской депрессии и перспективы его рудоносности // Тихоокеан. геология. 1984. № 3. С. 54–67.
27. Sorokin A.P., Artyomenko T.V. Structural evolution of the eastern margin of Eurasia in Late Mesozoic and Cenozoic // Jour. Geosci. Res. in Northeast Asia. 2003. V. 6, N 2. P. 150–160.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

A.P. Sorokin, V.B. Kaplun, Yu.F. Malyshev, A.T. Sorokina, T.V. Artyomenko

Geological and geophysical interpretation of the detailed geophysical data obtained during research in the Lower Zeya region within the Zeya-Bureya sedimentary basin

During 2010-2012 the studies of the Lower Zeya sedimentary basin using magneto-telluric probing (MTP) combined with gas-chemical sampling have been carried out. The results of geophysical studies allow to investigate quite efficiently geological structures using measurement spacing of 5 km. and that of 1 km. for the more detailed study of their constituent elements. It is established that the MTP method distinctly showed the block structure of the Lower Zeya basin, inner structure of depressions, the forms of conjugation of uplifts and depressions and fault system of the study region. The results of gas-chemical studies substantiated disjunctive dislocations established by geophysical methods with identification of high permeability zones. Within these zones the anomalies of soil helium and hydrogen were identified and this allows to consider the above zones as the fluid-conducting structures. In general the conducted studies made it possible in some cases to single out the localization areas of a number of mineral deposits.

Key words: Lower Zeya region, magneto-telluric probing, depression zones, depressions, uplifts, oil, gas, coal, Zeya-Bureya basin, Far East.