

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ (ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ)

Н.Г. Шкабарня, Г.Н. Шкабарня

Дальневосточный государственный технический университет, г. Владивосток

Приведены краткие сведения о геолого-геофизических характеристиках осадочных бассейнов Приморского края. Определена суммарная продольная проводимость отложений осадочного чехла по данным методов электроразведки и электрического каротажа скважин. Построена схема изолиний суммарной проводимости, которая позволила оценить глубину залегания разновозрастного фундамента в пределах осадочных бассейнов.

Ключевые слова: электроразведка, осадочные бассейны, Приморский край.

ВВЕДЕНИЕ

Детальное изучение мезозойско-кайнозойских впадин Дальнего Востока России имеет большое практическое значение для прогноза нефтегазоносности в связи с острым дефицитом энергетических ресурсов в этом регионе. На территории Приморского края специальные нефтегазопоисковые работы проводились, в основном, в 50–60-х годах. В процессе исследований применялись гравиметрическая съёмка, сейсмо-разведка методами отражённых (МОВ) и преломленных (МПВ) волн, вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) и параметрическое бурение. Основной задачей поиска было картирование антиклинальных структур в соответствии с технологией тех лет. Однако сложное геологическое строение бассейнов с плотной системой разрывных нарушений даёт основание считать, что залежи углеводородов возможны и в неантиклинальных ловушках.

В последнее время интерес к оценке нефтегазового потенциала Приморья возродился. Имеются предложения о возобновлении исследований с использованием современных методик оценки перспективных площадей. При переинтерпретации особенно важно использовать данные методов электрического зондирования, которое проводилось в больших объемах на территориях всех осадочных бассейнов, хотя и с другими целями. Для определения электрической проводимости пород осадочных бассейнов именно эти материалы имеют первостепенное значение [1].

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАССЕЙНОВ

Анализ геолого-геофизических материалов, полученных за последние пять десятилетий, позволяет выделить и изучить строение и литофациальные осо-

бенности осадочных бассейнов. Схема расположения бассейнов показана на рисунке.

В центре Ханкайского срединного массива расположен Приханкайский осадочный бассейн (рис. – I), который образовался в результате рифтовой активизации. На опустившихся блоках фундамента накапливались отложения молассового типа. Геоэлектрический разрез осадков представлен чередующимися отложениями глин с удельными электрическими сопротивлениями $8 \div 40 \Omega\text{м}$, песка ($60 \div 100 \Omega\text{м}$), алевролитов ($50 \div 150 \Omega\text{м}$) и песчаников ($35 \div 70 \Omega\text{м}$) различной мощности. Гидрогеологические условия характеризуются присутствием в песчано-глинистых отложениях песчаных водоносных горизонтов в виде протяженных по горизонтали линз с сопротивлением до $50 \Omega\text{м}$, иногда выходящих на поверхность.

Для анализа в качестве исходных данных использованы: кривые вертикального электрического зондирования в количестве 2 000 штук с максимальными разносами AB до $2 \div 4$ км, две точки МТЗ, временные разрезы методом МОВ-ОГТ на участке северной части бассейна, карты площадной гравиметрии масштаба 1:50 000. В результате интерпретации материалов установлено, что мощность мезозойско-кайнозойских осадочных отложений на этой территории не превышает 1.5 км. Удельные электрические сопротивления надпорного проводящего комплекса пород изменяются в диапазоне $30 \div 70 \Omega\text{м}$ и определяются литофациальными и гидрогеологическими условиями бассейна.

По периферии Ханкайского срединного массива образовались Суйфунский (II), Сучанский (III), Марьяновский (IV) и Алчанский (V) осадочные бассейны (рис.). Они выполнены морскими и континентальными терригенными, в том числе угленосными, и вулкано-

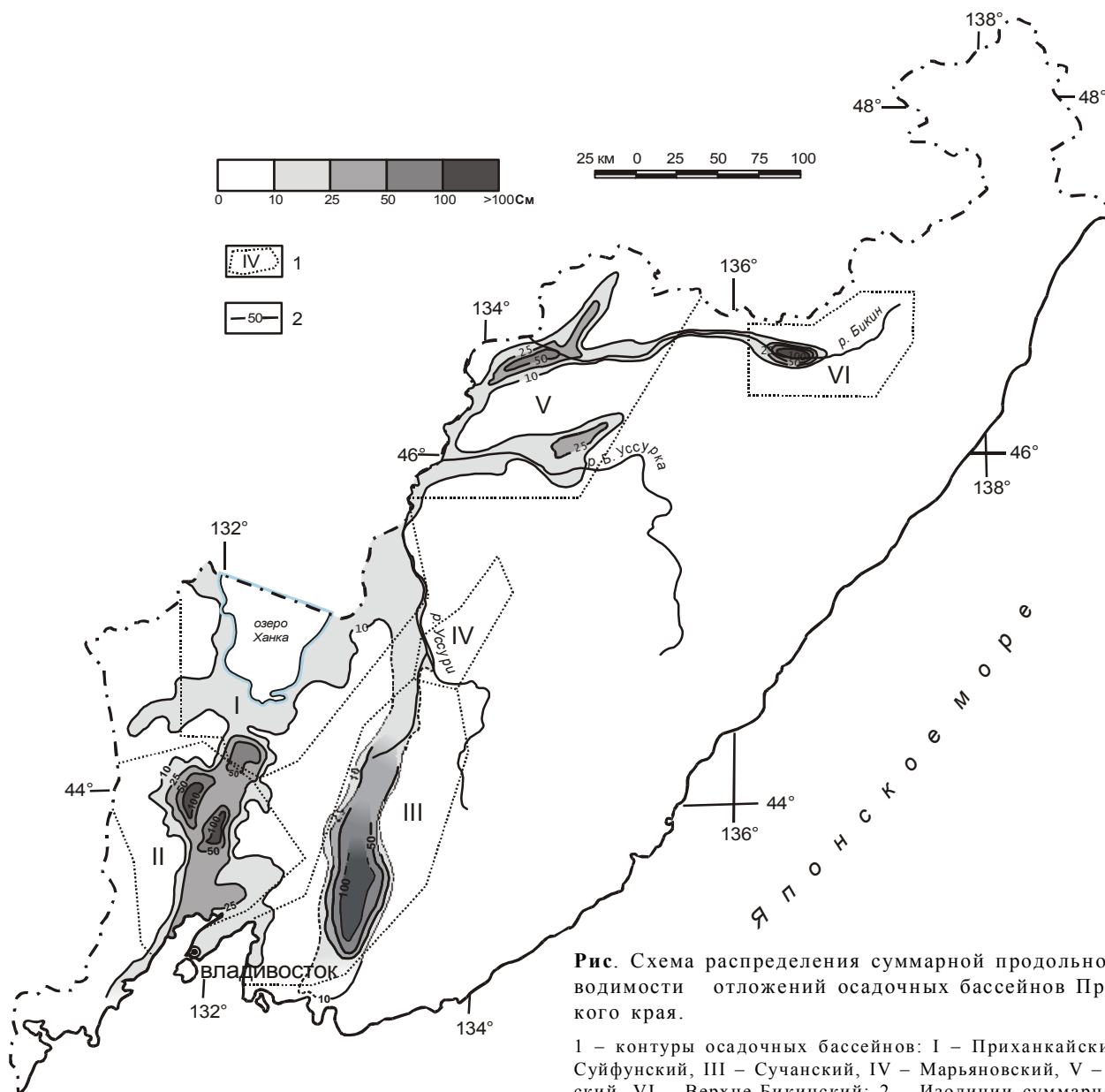


Рис. Схема распределения суммарной продольной проводимости отложений осадочных бассейнов Приморского края.

1 – контуры осадочных бассейнов: I – Приханкайский, II – Суйфунский, III – Сучанский, IV – Марьяновский, V – Алчанский, VI – Верхне-Бикинский; 2 – Изолинии суммарной продольной проводимости в См.

генно-осадочными отложениями, которые не испытывали интенсивной складчатости, метаморфизма и активного термального воздействия интрузивного магматизма. Возраст этих отложений – от позднепермского до неогенового. В их составе имеются пакки темно-серых и чёрных алевролитов и аргиллитов, образовавшихся в морских восстановительных условиях, угленосные толщи, песчано-глинистые породы, песчаники, вулканогенные образования. Наиболее проводящими породами, вне зависимости от возраста, являются глины, глинистые угленосные и песчано-глинистые отложения, алевролиты (табл.). Это объясняется, в первую очередь, наличием корреляционных зависимостей между водно-физическими и электрическими свойствами массивов горных пород. Для осадочных

пород существует чёткая связь между геолого-гидрологическими параметрами и удельным электрическим сопротивлением. Такие разрезы изучаются прежде всего методом электрических зондирований. Каждая из впадин по бортам оконтурена выходами на дневную поверхность пород разновозрастного фундамента (от перми до нижнего мела) с удельным сопротивлением, в среднем, 400 Ом.

Перечисленные впадины имеют некоторые различия в строении и возрасте слагающих отложений, их седиментологических и фациальных характеристиках, площади распространения и мощности осадков.

Например, наиболее изученный Суйфунский осадочный бассейн занимает площадь 7600 км², максимальная глубина подошвы осадочного чехла, по дан-

№	Наименование пород	Удельные электрические сопротивления, Ω	
		диапазон	среднее
1	Четвертичные аллювиально-делювиальные отложения	10–1400	
2	Нижнечетвертичные и верхнеогеновые пески и галечники	60–700	
3	Глины того же возраста	10–40	20
4	Песчано-валунно-галечные отложения	90–240	150
5	Неогеновые галечники	200–500	300
6	Неогеновые песчано-глинистые отложения	20–50	35
7	Неоген-палеогеновые гравийно-галечные отложения на песчано-глинистом цементе	40–80	60
8	Гравийно-галечные отложения с прослоями угля того же возраста	80–300	200
9	Глинистые угленосные отложения того же возраста	10–40	25
10	Палеогеновые отложения:		
	алевролиты	10–30	20
	аргиллиты	40–100	60
	алевролиты с прослоями песчаников	40–70	50
	песчаники	70–140	100
	конгломераты	100–170	140
	уголь бурый	90–240	170
11	Палеозойские интрузии и метаморфические отложения	200–2000	300
12	Породы разновозрастного фундамента (сцементированные песчаники, андезиты и их туфы, кремнистые отложения)	300–500	400

ным геофизических методов, составляет около 5 км. Осадочный чехол представлен морскими и континентальными терригенными угленосными и вулканогенными породами триасового, юрского, мелового, палеогенового и неогенового возраста. В пределах площади выделяется гидрогеологическая провинция, где основные запасы подземных вод сосредоточены в кайнозойских депрессиях.

При анализе использованы данные электрического зондирования (ВЭЗ, ДЭЗ) в объеме более 1000 физических точек и гравиметрическая съемка на всей площади бассейна, сейсморазведка методами МОВ, МПВ и МОВ-ОГТ на отдельных локальных участках. Следует отметить, что несколько десятков кривых дипольного электрического зондирования, полученных в центральной и северо-западной частях бассейна, имеют максимальные разносы до 10 км.

В результате анализа параметрических зондирований и каротажа неглубоких скважин (большинство имеют забой до 1 км) установлено, что геоэлектрический разрез представлен в основном типами КНА или QНА. Четвертичные и на отдельных площадях неогеновые отложения (геоэлектрические горизонты ρ_1 и ρ_2), представленные галечниками, конгломератами, базальтами и глинами, имеют переменное удельное сопротивление в диапазоне 40–300 Ω , мощности их достигают 150 м. Песчано-глинистые, угленосные, туфогенные отложения (горизонт ρ_3) позднемелового, реже палеогенового возраста имеют сопротивления 20–40 Ω , мощность их превышает 600 м. Нижнемеловые песчаники с прослоями алевролитов, аргиллитов, углей (горизонт ρ_4) повсеместно характеризуются повышенным сопротивлением 70–100 Ω , реже –

до 140 Ω , при мощности более 1000 м. Водоносные горизонты приурочены, как правило, к грубообломочным осадкам отдельных депрессионно-тектонических морфоструктур, а также могут образовывать изолированные друг от друга глинистыми прослоями локальные области повышенной проводимости. Иногда встречаются локальные участки высокого сопротивления, связанные с базальтовыми лавами. В основании разреза залегают метаморфизованные породы, иногда граниты, юрского и триасового возраста (горизонт ρ_5), имеющие высокие удельные сопротивления 200–300 Ω , в отдельных случаях около 500 Ω . В юго-восточной части бассейна низкими удельными сопротивлениями (10–50 Ω) характеризуются, в основном, палеогеновые отложения, представленные переслаивающимися слабосцементированными песчаниками, глинами и угленосными породами.

Сучанский бассейн (III) является наиболее обширным – его площадь составляет 10 400 км², максимальные глубины залегания подошвы осадков, по данным последних профильных исследований сейсморазведкой методом МОВ-ОГТ, – 8 км. Территория бассейна слабо изучена геофизическими методами. По всей площади имеются только данные гравиметрической съемки. Электроразведочные исследования методом ВЭЗ (более 1000 точек) проведены на отдельных площадях южной и северной частей бассейна. Максимальные разносы питающей линии не превышали 2 км. Поэтому особого внимания заслуживают результаты работ методом МОВ-ОГТ, полученные в ограниченном объеме в 90-х годах.

В гидрогеологическом отношении этот бассейн является наиболее сложным, так как объединяет раз-

народные геологические структуры. Здесь выделяются как трещинные, так и поровые воды, приуроченные к малым артезианским бассейнам.

Известно, что бассейн сложен такими же, как и в Суйфунском бассейне, морскими и континентальными породами, но с присутствием более древних, верхнепермских отложений. Имеющиеся скважины бурились на относительно небольшие глубины, обычно до первых сотен метров. Анализ каротажных диаграмм скважин и параметрических кривых электрического зондирования позволил оценить только общие особенности геоэлектрического разреза, который представлен, в основном, типом НКН. Наиболее проводящими отложениями (горизонт ρ_4 с удельным сопротивлением около 30 $\Omega\text{м}$) являются алевролиты и аргиллиты шоколадного и зелёного цвета, песчаники, гравелиты нижнего и верхнего мела; мощность их составляет около 3000 м. Подстилающие терригенные и вулканогенные породы (горизонт ρ_5) перми и девона имеют удельные сопротивления выше 1000 $\Omega\text{м}$. Перекрывающие молодые отложения палеогена и неогена (горизонты ρ_3 и ρ_2), а также породы четвертичного возраста характеризуются переменными сопротивлениями в диапазоне 50÷400 $\Omega\text{м}$.

Марьяновский осадочный бассейн (IV) занимает небольшую площадь, выполнен терригенными и вулканогенными породами мезозойско-кайнозойского возраста, мощность которых не превышает 1÷1.5 км. На его площади выделяется малый артезианский бассейн и хорошо развит грунтовый аллювиальный водоносный горизонт, принадлежащий гидросистеме р. Большой Уссурки. При исследовании использовались кривые электрического зондирования в количестве около 500 с максимальными разносами 1200 м, а отдельные точки ВЭЗ имеют разносы до 6000 м. Геоэлектрический разрез представлен, в большинстве случаев, типом КQH. Наиболее проводящими являются песчано-глинистые отложения палеоген-неогенового возраста мощностью до 800 м.

Алчанский осадочный бассейн (V) сложен морскими и континентальными терригенными, в том числе угленосными, и вулканогенными породами поздне-триасового, мелового, палеогенового и неогенового возраста. Площадь бассейна составляет 9300 км², максимальные мощности осадочного чехла достигают 5 км. Подземные воды бассейна приурочены чаще всего к верхней трещиноватой зоне пород и относятся к типу грунтовых. В исследовании внутреннего строения бассейна использовались электроразведка методом ВЭЗ в объёме более 10 000 физических точек, гравиметрия и сейсморазведка методом МОВ на двух небольших площадях. Максимальные разносы электрических зондирований, как правило, составляли 1000÷2000 м, но на трех региональных профилях выполнялись зондирования с разносами до 10 000 м.

В большинстве случаев, геоэлектрический разрез представлен типами КНА или КQH. Четвертичные и неогеновые отложения (горизонты ρ_1 и ρ_2), представленные песками, галечниками и глинами, имеют удельные сопротивления в широком диапазоне значений от 20 до 1500 $\Omega\text{м}$. Палеогеновые слабосцементированные песчаники, угли, песчано-сланцевые и песчано-глинистые отложения, алевролиты (горизонты ρ_3 и ρ_4) имеют низкие удельные сопротивления с величинами 10÷30 $\Omega\text{м}$, мощность их превышает 600 м. Разрез подстилается мезозойскими песчаниками, андезитами и их туфами, кремнистыми отложениями (горизонт ρ_5) с сопротивлениями 200÷300 $\Omega\text{м}$.

Среди кайнозойских бассейнов наиболее крупным и хорошо изученным является Верхне-Бикинский (VI). Он сложен кайнозойскими отложениями, залегающими с резким несогласием на поверхности размыва мезозойских пород. Длина бассейна составляет всего 55 км, ширина – 15 км. Здесь выполнено около 500 вертикальных зондирований с максимальными разносами $AB = 2\div 4$ км, в ограниченном объёме проведены сейсмические работы методом МОВ-ОГТ.

Осадочные отложения бассейна отличаются повышенной электропроводимостью. Интересна роль тектонических дислокаций при его заложении, и имеет смысл рассмотреть особенности этой впадины более подробно. В ее строении выделяются три структурные этажа.

Первый – это хорошо сцементированные, сильнодислоцированные песчаники, известняки, алевролиты, андезиты и их туфы возрастного диапазона от нижнего триаса до нижнего мела. Наибольшая глубина погружения кровли отложений (считаем их фундаментом) по данным сейсморазведки достигает 2900 м. У бортов они выходят на дневную поверхность.

Второй этаж сложен слабодислоцированными терригенными и вулканогенными породами верхнего мела и палеогена, включающими также андезиты, алевролиты, песчаники, углистые породы, конгломераты и гравелиты. Наибольшая мощность этих отложений в пределах депрессий колеблется в диапазоне 2000÷2500 м. Образования первых двух этажей прорваны многочисленными интрузиями, выделяются синклинальные и антиклинальные складки, осложненные более мелкими структурами.

Третий этаж представлен недислоцированными породами (алевролиты, аргиллиты, покровы базальтов, галечники, пески и суглинки) неогеновой и четвертичной систем. Мощности их не превышают 600 м.

Геоэлектрический разрез бассейна представлен типами КНА, КQH. Наиболее проводящими отложениями (10÷20 $\Omega\text{м}$) в разрезе являются алевролиты палеогенового возраста. Низкими значениями удельных сопротивлений характеризуются также аргиллиты, алевролиты с прослоями песчаников

(40÷100 Ом). Выше и ниже по разрезу сопротивления увеличиваются.

СУММАРНЫЕ ПРОДОЛЬНЫЕ ПРОВОДИМОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ В ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНАХ

Для определения суммарной проводимости (S) пород осадочных бассейнов наиболее представительными являются материалы электрических зондирований. Поскольку максимальные разности установок, в большинстве случаев, составляли в среднем 2 км, глубина исследований методом ВЭЗ не превышала 500 м. Лишь на отдельных участках Суйфунского и Алчанского бассейнов имеются кривые электрического зондирования с разностями до 10 000 м, которые позволили судить о строении и физических свойствах пород на глубину 1.5÷2 км.

Поэтому при составлении схемы суммарной продольной проводимости (S) бассейнов также использовались данные об электрических свойствах пород, полученные по данным каротажа скважин. Поскольку скважины бурились на небольшие глубины у бортов бассейнов, то удельные электрические сопротивления пород на глубинах более 500 м одного и того же литологического состава и возраста определялись путем интерполяции.

В результате обработки данных каротажа скважин и интерпретации параметрических кривых зондирования в осадочных бассейнах края определены диапазоны изменений и средние величины удельных электрических сопротивлений некоторых выделенных комплексов пород осадочного чехла, которые приведены в табл. После привязки геоэлектрических границ к стратиграфическим в пределах бассейнов устанавливались удельные электрические сопротивления конкретных слоев (табл.).

Для установления суммарной проводимости верхней части разреза привлекались кривые электрического зондирования, у которых имелась восходящая конечная ветвь. Общее количество таких кривых, выбранных нами из многих отчетов, составила около 3000. У части из них восходящая ветвь поднималась под углом 45° или близким к нему, но большинство кривых имели пологую восходящую ветвь. В процессе обработки и определения значений применялись известные способы [2] с использованием палеток. Полученные значения S уточнялись путем сравнения с результатами определения этой величины на основе данных количественной интерпретации методами подбора, когда устанавливались мощности и удельные сопротивления выделенных слоев в верхней части разреза. Такая информация приводится в отчетах, но поскольку некоторые исследования проводились в 50–60-х годах, то около сотни кривых выборочно переинтерпретированы с помощью автоматизированной системы на ПЭВМ.

На участках глубокого залегания фундамента для определения величины S привлекались результаты количественной интерпретации кривых кажущегося сопротивления, у которых отсутствовала восходящая ветвь, и данные о мощностях слоев осадочного чехла из сейсмо-геологических разрезов. Удельные электрические сопротивления слоев, как уже упоминалось, определялись по данным каротажа неглубоких скважин у бортов депрессий с учетом сведений о возрасте и литологии пород.

Следует отметить, что в процессе исследований не было возможностей использовать все геолого-геофизические материалы, поскольку они представлены в многочисленных отчетах ГПП «Приморгеолкома» и число их превышало 700. Нами детально просмотрены и проанализированы материалы 50-ти отчетов, касающихся основных осадочных бассейнов с участками глубокого погружения фундамента. Приоритетом пользовались исследования методом ВЭЗ с максимальными разностями 2 км и более на участках, где имелись результаты сейсморазведки. Однако говорить о полноте охвата всей необходимой информации преждевременно, и данная работа является начальным этапом сложной проблемы изучения осадочных бассейнов.

На основании анализа и обработки выбранных материалов построена схема изолиний величины суммарной продольной проводимости осадочного чехла бассейнов (рис.). Как видно, участки с наибольшими значениями S (более 100 См) находятся в пределах Суйфунского, Сучанского и Верхне-Бикинского бассейнов. Эти участки имеют сравнительно небольшие размеры по площади (200÷300 км²) и соответствуют либо большим глубинам (4 км и более) залегания разновозрастного фундамента (южные районы Приморья), либо мощности чехла в 3 км, где отложения характеризуются низкими удельными сопротивлениями (северные районы). Заметим, что в пределах участков есть точки со значениями 150 См. На территории Сучанского бассейна изолиния 100 См не замкнута с севера, поскольку отсутствует информация по этой части впадины. Породы подстилающего фундамента, имеющие удельное сопротивление свыше 400 Ом, не могут резко увеличить величины S, если не принимать во внимание возможные проводящие зоны на больших глубинах.

Вокруг выделенных аномальных участков располагаются зоны с проводимостью от 50 до 100 См. Они несущественно увеличивают площади в Суйфунском и Верхне-Бикинском бассейнах. В пределах Сучанского бассейна зона высокой проводимости имеет наибольшие размеры и не оконтурена с севера. На площади Суйфунской впадины в дополнение к двум участкам центральной части выделяется аномалия высокой проводимости в северной части. Кроме того, выделена зона высокой проводимости и на территории Алчанского бассейна.

Окаймляют участки с высокими значениями проводимости обширные зоны повышенной проводимости с величинами S в диапазоне 10÷50 См. Наибольшие площади зон отмечены в пределах Суйфунского и Алчанского бассейнов. Определить размеры зоны на территории Сучанского бассейна не представляется возможным в виду отсутствия данных. Участки повышенной проводимости Алчанского и Верхне-Бикинского бассейна соединяются в единую зону. Кроме того, повышенными проводимостями отмечаются Приханкайский осадочный бассейн и Гоголевская депрессия в среднем течении р. Большая Уссурка. Материалы геофизических работ на территории Марьяновского осадочного бассейна не анализировались. Возможно, в этом бассейне также имеет место зона повышенных проводимостей.

На большей части территории края суммарные продольные проводимости слагающих комплексов отложений не превышают 10 См. Согласно схеме тектонического районирования эта территория включает Сихотэ-Алинскую складчатую систему, Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс, Ханкайский срединный массив и Сергеевский выступ, а также верхнепалеозойские орогенные осадочно-вулканогенные комплексы, расположенные по периферии Ханкайского массива.

На данном этапе исследований отдельные небольшие участки, соответствующие остаточным прогибам и имеющие повышенные проводимости, нами не выделены. Известны несколько эпигеосинклинальных межгорных прогибов, в которых предполагаемая мощность осадочного чехла достигает 2÷3 км. Однако геофизических материалов, достаточных хотя бы для приближенной оценки проводимости на этих участках, не имеется. Поэтому в дальнейшем необходимо продолжить начатые исследования по определению продольной проводимости осадочно-вулканогенных комплексов на всей территории края, привлекая дополнительные геолого-геофизические материалы.

ВЫВОДЫ

Анализ и переинтерпретация данных электрических зондирований с привлечением сейсмо-геологических разрезов, результатов обработки каротажа скважин и параметрических кривых ВЭЗ позволили выделить участки высоких и повышенных проводимостей осадочных и вулканогенных отложений, которые территориально соответствуют наиболее глубокому залеганию разновозрастного фундамента в пределах осадочных бассейнов. Для построения схемы изопахит осадочного заполнения бассейнов необходима информация о средних продольных сопротивлениях всего комплекса осадков на рассматриваемой территории. Такая работа может быть предметом дальнейших исследований по переинтерпретации данных геофизических методов и, в первую очередь, электрического каротажа глубоких скважин.

Составленная схема суммарной продольной проводимости даёт основание считать, что наибольший интерес для нефтегазопоисковых работ представляют аномальные участки высокой проводимости в пределах Суйфунского и Сучанского бассейнов. Кроме того, эта схема будет использована для выявления и изучения зон глубинной электропроводности земной коры в области перехода от Азиатского континента и Тихому океану.

Статья подготовлена благодаря поддержке Министерства образования РФ, грант в области естественных наук Е00-9.0-48.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкабарня Н.Г., Шкабарня Г.Н. Методика предварительной оценки нефтегазоносности перспективных площадей Приморского края (по данным электрических зондирований) // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 6. С. 26–34.
2. Электроразведка: Справочник геофизика. В 2-х кн. М.: Недра, 1989.

Поступила в редакцию 17 января 2002 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

N.G. Shkabarnya, G.N. Shkabarnya

Peculiarities of the structure of sedimentary basins in the Primorye Territory (from the data of electric prospecting)

This paper briefly discusses information about the geological and geophysical characteristics of sedimentary basins in the Primorye Territory. Based on data received from electric and seismic surveys and electric logging, the total longitudinal conductivities of the sedimentary cover were determined. An isoline scheme of the total longitudinal conductivity has been constructed, which made it possible to estimate the occurrence of the different-age basement within the main sedimentary basins.