

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Т.В.Селиванова, Н.Г.Шкабарня

Дальневосточный государственный технический университет им. Куйбышева г. Владивосток

В статье представлены типовые геоэлектрические модели гидрогеологических провинций Приморского края. Сформированные модели дают формализованное обобщенное представление о водоносных структурно-вещественных комплексах с их электрическими параметрами и полученными кривыми зондирования. Преобладающими для края являются: двухслойная полого-слоистая модель с высокоомным подстилающим горизонтом, многослойные модели с субгоризонтальными границами раздела, модель с наклонной границей раздела и выклинивающимся пластом, модель с локальным протяженным включением. На основании сформированных геоэлектрических моделей для различных типов месторождений подземных вод Приморского края была составлена схема районирования по типам геоэлектрических моделей.

ВВЕДЕНИЕ

В общем комплексе поисковых работ на подземные воды, являющиеся единственно возможным источником водоснабжения промышленных центров и населенных пунктов Приморского края, широкое применение находят геофизические методы, в частности вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и модификации метода вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП). Электроразведочные работы проводятся установками Шлюмберже и Веннера с максимальной питающей линией до 700-1000 метров.

С целью эффективного применения этих методов целесообразно рассмотреть типовые геоэлектрические модели гидрогеологических провинций края. Формирование типовых моделей основано на структурно-тектоническом принципе с привлечением электрических свойств горных пород.

На территории Приморья выделены два гидрогеологических региона первого порядка: Приханкайский сложный артезианский бассейн и бассейн трещинных грунтовых вод складчатых систем Сихотэ-Алиня и отрогов Восточно-Манчжурского нагорья. Приханкайский бассейн орографически совпадает с Западно-Приморской равниной и в тектоническом отношении охватывает структуру Ханкайского массива и примыкающие к нему молодые депрессии других структурно-формационных зон [1].

Преобладающим типом вод являются напорные пластово-поровые и пластово-трещинные воды, заключенные между водонепроницаемыми породами чехла. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки. Рассматриваемый бассейн имеет сложное строение, обусловленное различной глубиной залегания фундамента и частичным

выходом его на поверхность, что позволяет разделить его на бассейны второго порядка или гидрогеологические провинции [3].

В геологическом строении бассейна трещинных грунтовых вод участвуют палеозойские, мезозойские и кайнозойские отложения, а по окраинам Ханкайского массива и докембрийские осадочные, вулканогенно-осадочные, вулканические и интрузивные образования, сложно дислоцированные складчатостью, линейными разрывными нарушениями. Тектонические депрессии, выполненные кайнозойскими отложениями, имеют в пределах бассейна ограниченное распространение. По типам вод здесь также выделяют бассейны второго порядка. На их территории наибольшее распространение имеют грунтовые воды, приуроченные к зонам трещиноватости выветрелых пород различного возраста и состава. Присутствуют и трещинно-жильные воды, связанные с тектоническими нарушениями и зонами интрузивных контактов.

Практический интерес для Приморского края представляют следующие типы подземных вод. Воды рыхлой покровной формации, приуроченные к погребенным хорошо промытым ниже - и средне-четвертичным грубозернистым пескам, гравиям, галечникам. Мощность их выдержана и составляет 40-60 метров. В зависимости от гидрогеологических условий, месторождения подземных вод данного типа подразделяются на две группы. К первой относятся месторождения грунтовых вод, приуроченные к долинам современных рек [2]. В них аллювиальный горизонт прорезается руслом рек при отсутствии озерных отложений.

Ко второй группе относятся месторождения, где водоносный горизонт верхнечетвертичного и

современного аллювия отделен от древнего слабопроницаемыми озерными четвертичными глинистыми отложениями. Данные месторождения по условиям формирования подземных вод могут быть отнесены к артезианским.

К грунтовым водам относятся также воды трещинной зоны литифицированных докайнозойских образований, распространенные в провинциях бассейна трещинно-грунтовых вод. Из-за слабой водообильности и отсутствия напора эти воды не представляют большого интереса для решения задач крупного водоснабжения.

Грунтовые воды миоцен-плиоценовых базальтов, андезито-базальтов и их туфов обычно имеют безнапорный характер и только на участках, где они перекрыты мощной толщей глин, могут встречаться напорные воды [3]. Мощность покровов колеблется от нескольких до первых десятков метров. Покровы базальтов с поверхности обычно перекрыты маломощным (не более 6 м) эллипсидальным чехлом, представленным глинами и суглинками. Комплекс обводненных базальтов состоит из ряда горизонтов, приуроченных к трещинным зонам и изолированных друг от друга глинистыми корами выветривания.

Наибольшую перспективность для централизованного водоснабжения имеют артезианские воды кайнозойских наложенных депрессий. В пределах отдельных впадин прослеживается несколько водоносных горизонтов, питание которых происходит, как правило, за счет инфильтрации атмосферных осадков. Они приурочены, в основном, к гравийно-галечным отложениям мощностью до нескольких десятков метров и отделены друг от друга глинистыми породами, которые нельзя считать полностью водонепроницаемыми.

Артезианские воды, напорные условия которых образуются в зонах тектонической трещиноватости и в оползневых накоплениях по периферии базальтовых плато, характеризуются низкими эксплуатационными запасами и представляют интерес только для местного водоснабжения.

На основании проведенного анализа геолого-геофизического материала по 30 участкам, охватывающим все гидрогеологические провинции Приморского края, и модельных расчетов были сформированы основные типы геоэлектрических моделей (ГЭМ).

Под геоэлектрическими моделями будем понимать формализованное и обобщенное представление о структурно-вещественных комплексах с электрическими параметрами и полученными кривыми зондирования кажущегося сопротивления, кажущейся поляризуемости и комплексного параметра.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Геоэлектрические модели для месторождений подземных вод рыхлой покровной формации

В зависимости от условий формирования подземных вод, рассматриваются два вида полого-слоистых моделей. Геоэлектрическая модель для месторождений грунтовых вод содержит четыре горизонта. Высокоомные второй и третий слои аппроксимируют обводненные и слабопроницаемые гравийно-галечные отложения. Удельные сопротивление и поляризуемость водоносного горизонта меняются в пределах от 50 до 100 Ом м и $\eta_k = 1-3\%$, а вышележащих отложений - от 200 до 400 Ом м и $\eta_k = 0.05-0.1\%$. Подстилающие обводненный горизонт глинистые породы представлены проводящим слоем повышенной поляризуемости ($\rho = 10-15$ Ом м, $\eta = 5-7$). Кривые зондирования рассматриваемой ГЭМ характеризуются протяженной левой ветвью и четким выраженным максимумом на конечных разностях.

Геоэлектрическая модель для месторождений артезианских подземных вод

Модель представлена водоносным горизонтом с удельным сопротивлением 80 Ом м и поляризуемостью 3-5%, перекрытым проводящими глинистыми отложениями высокой поляризуемости ($\rho = 10-20$ Ом м, $\eta = 5-7\%$). Верхняя часть разреза сложена переслаивающимися обводненными илистыми песчано-глинистыми отложениями ($\rho = 20-50$ Ом м, $\eta = 3-5\%$) мощностью до 2 метров.

Геоэлектрическая модель для месторождений грунтовых вод верхней трещинной зоны литифицированных докайнозойских образований.

Она представлена двухслойной моделью с пологими границами раздела и высокоомным подстилающим горизонтом. Данный тип модели является преобладающим для края и может быть применен для аппроксимации разрезов горной части Приморья, которые сложены крепкими скальными, в различной степени трещиноватыми породами, в основном, палеозойско-мезозойского возраста. Непроводящим горизонтом аппроксимируются обводненные трещиноватые породы (базальты, выветрелые песчаники), удельное сопротивление которых меняется от 100 до 300 Ом м. Эти отложения перекрыты маломощными (от 1 до 20 м) четвертичными отложениями с удельным сопротивлением от 10 до 25 Ом м.

В зависимости от геологических условий гидрогеологических провинций высокоомным подстилающим горизонтом могут быть представлены терригенные, эффузивные и интрузивные образования различного состава, нередко регионально

метаморфизованные. Так, в Пограничной провинции высокоомными являются древние нижнесилурийские кремнисто-терригенные породы и пермские терригенные или эффузивные образования, а также среднепалеозойские и позднепалеозойские гранитные батолиты. В Синклинойной провинции осадочные породы, представленные ниже-меловыми песчано-алевролитовыми отложениями, при формировании ГЭМ аппроксимируются непроводящим горизонтом. Геоэлектрические разрезы Вулканогенной провинции характеризуются наличием высокоомного горизонта трещиноватых обводненных эффузивных образований. Высокоомный горизонт для моделей безнапорных трещинных вод Находкинской и Центрально-Сихотэ-Алинской провинций представлен протерозойскими регионально метаморфизованными образованиями амфиболитовой и зеленосланцевой фаций.

Некоторые участки Приморского сложного артезианского бассейна также имеют трещинные воды. Наиболее крупным по занимаемой площади и водообильности является Спасский массив (Приханкайская провинция), где трещиноватые обводненные терригенно-карбонатные породы отмечаются в электрических полях повышенным сопротивлением. Кривые зондирования для данного типа ГЭМ, полученные при зондировании симметричной установки Шлюмберже, характеризуются высоким положительным градиентом конечной ветви ρ_k . Угол наклона правой ветви кривой к оси разносов составляет 40-45°.

Геоэлектрическая модель для месторождений трещинно-пластовых вод миоцен-плиоценовых базальтов

В зависимости от условий залегания трещиноватых базальтов было рассмотрено три полого-слоистые модели. Одна из них имеет проводящий (до 100 Ом.м) промежуточный горизонт повышенной поляризуемости (до 4%), которому соответствует ВГ трещиноватых базальтов, залегающих между высокоомными горизонтами плотных песчаников ($\rho=200$ Ом.м, $\eta=0.3\%$) и массивных базальтов ($\rho=500$ Ом.м, $\eta=0.1\%$).

Средне- и верхнечетвертичные аллювиальные отложения, как правило, характеризуются двух-слойным строением, где нижний высокоомный слой ($\rho=200$ Ом.м, $\eta=0.3\%$) представлен гравийно-галечными отложениями, а верхний проводящий ($\rho=50$ Ом.м, $\eta=10\%$) – отложениями пойменной фации. Для кривых зондирования данного типа характерно слабоградиентное возрастание функции с увеличением глубины исследования.

Другой тип ГЭМ представлен высокоомным горизонтом, перекрытым проводящими слоями

высокой поляризуемости. Данная модель отличается от предыдущей тем, что водоносный горизонт трещиноватых базальтов здесь является высокоомным с низкой поляризуемостью ($\rho=100$ Ом.м, $\eta=1\%$) относительно вмещающих его проводящих песчано-глинистых пород повышенной поляризуемости ($\rho=10$ Ом.м, $\eta=5\%$). Кривые зондирования для данной модели имеют ярко выраженный максимум и минимум, с наличием резко градиентных зон. Максимум ρ_k и минимум η_k обусловлен присутствием в верхней части разреза высокоомных пород галечника и песка. Минимальная величина ρ_k и повышенная η_k соответствуют глинистым прослоям, а конечные ветви кривых отражают базальтовые тела.

Третий тип полого-слоистой модели содержит два водоносных горизонта, один из которых приурочен к трещиноватым базальтам, а второй к слабо-дифференцированным по сопротивлению и поляризуемости телам осадочных пород ($\rho=50-100$ Ом.м, $\eta=0.5-2\%$). Песчано-глинистые отложения, залегающие между водоносными горизонтами, можно принять за относительный водоупор с сопротивлением порядка 10-20 Ом.м и поляризуемостью от 3 до 10. По данным математического моделирования они отражаются минимумом на ниспадающей ветви кривых зондирования. Присутствие в разрезе нижнего водоносного горизонта обуславливает повышение значений ρ_k и η_k . Используемые разносы установок не позволяют определить глубину залегания кровли нижнего ВГ. Геоэлектрические разрезы, которые можно аппроксимировать данными типами ГЭМ, чаще всего встречаются в центральной, юго-западной и крайней северо-восточной частях Приморского края, где широко представлены базальты, андезибазальты Суйфунской, Усть-Суйфунской и Находкинской свит.

Геоэлектрическая модель для месторождений артезианских вод кайнозойских наложенных депрессий

Разрезы центральных частей депрессий с полого залегающими аллювиальными и озерно-аллювиальными отложениями могут быть представлены моделями описанными для случая подземных вод рыхлой покровной формации. При моделировании электрических полей над бортами депрессий необходимо использовать модель с одной или несколькими наклонными границами раздела. Форма кривых зондирования для данных типов ГЭМ будет зависеть не только от физико-геометрических параметров, но и от типа применяемой установки и ее расположения относительно линии выклинивания горизонта (рис.1).

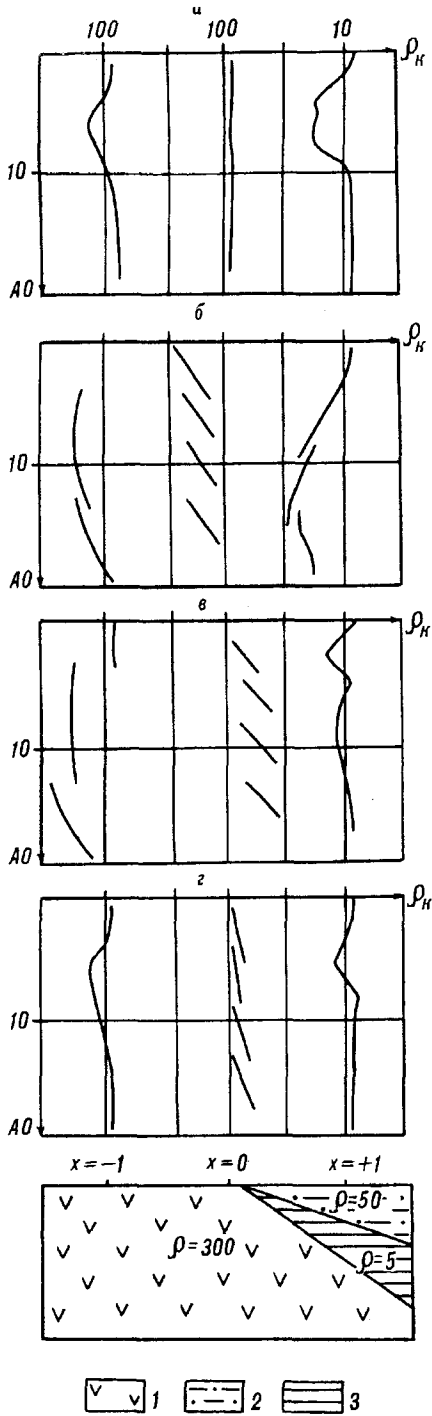


Рис.1 Кривые ВЭЗ для модели с выклинивающимся пластом

Установки зондирования:

а) Веннера, б) АМ, N, в) АММ, г) АМNB. 1 – коренные скальные породы, 2 – глинистые пески, 3 – глины.

Для кривых ВЭЗ установкой Веннера характерно наличие излома при расположении центра зондирования в стороне от выклинивающегося объекта ($x < 0$), величина которого в 1.3 раза превышает фоновое значение. Если центр установки располагается над точкой контакта, то на кривой наблюдается участок пониженного сопротивления, осложненный изломом положительного знака.

При расположении центра трехэлектродной установки зондирования в стороне от линии выклинивания горизонта ($x < 0$), кривая ВЭЗ имеет расхождения кажущегося сопротивления при переходе с меньшей на большую приемную линию, которое достигает 100%. Угол наклона правой ветви кривой ρ_k составляет порядка 35° . Над линией контакта кривая имеет форму “елочки”. Расхождение на всех перекрытиях приемных линий остается постоянным и равным 75%. При расположении установки зондирования (MN, В) над выклинивающимся горизонтом на кривой ρ_k наблюдается значительные расхождения на перекрытиях и по форме она близка к кривой ВЭЗ при $x < 0$. Кривая для установки А, MN имеет два характерных излома противоположного знака.

Кривые ВЭЗ, для модели выклинивающегося горизонта, полученные при зондировании симметричной установкой Шлюмберже, имеют более сглаженную форму. При расположении центра установки в стороне от выклинивающегося объекта, на кривой наблюдается незначительный излом отрицательного знака и разрыв функции ρ_k до 8% на перекрытиях приемных линий. В случае расположения центра зондирования непосредственно над линией выклинивания кривая ВЭЗ имеет “елочный” вид с расхождением на перекрытиях до 40%. При дальнейшем смещении установки в сторону проводящего пласта на кривых ρ_k появляются два излома, интенсивность которых меньше, чем у кривых для установки MN, В.

Описанная модель может быть использована не только при картировании прибортовых частей депрессий, но и в других случаях разрезов. Частным примером может быть модель с одной наклонной границей, наличие которой в разрезе обуславливает появление на кривых зондирования различных искажений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кривые зондирования имеют форму наклонной прямой при расположении центра зондирования трехэлектродной установки непосредственно над линией выклинивания. В случае, когда установка зондирования расположена над непроводящей выклинивающейся средой форма кривых схожа с кривыми полого-слоистой модели (наличие точки

пересечения кривых, расхождение функций на перекрытиях не более 8%). В том случае, когда выклинивающийся высокоомный горизонт является боковым объектом, кривые мало отличаются от прямой, значение которой по оси абсцисс соответствует значениям поляризуемости и сопротивления. При углах наклона выклинивающегося горизонта до 45° боковой объект оказывает влияние на распределение токовых линий в неоднородной среде. При больших углах наклона границы раздела на кривых зондирования появляются значительные расхождения ρ_k и η_k на перекрытиях, значения которых возрастают с увеличением объема бокового объекта.

Кривые ВЭЗ для симметричной установки Шлюмберже резко отличаются от кривых в идентичной модели с субгоризонтальными границами раздела. Над точкой выклинивания высокоомного горизонта кривая ρ_k имеет "елочный" вид, с углом наклона к оси разносов 35°. Расхождения кажущихся сопротивлений на перекрытиях остается постоянным с увеличением глубины исследования и равным 75°. При смещении центра установки в сторону от наклонного горизонта на кривой появляется характерный излом и расхождение ρ_k на перекрытиях приемных линий до 60°. Даже при малых углах наклона границы (до 20°) боковой высокоомный объект оказывает влияние на распределение токовых линий в однородной проводящей среде вблизи контакта ($\chi = -1$).

На северо-западе Приморского края, где кремнисто-терригенные и эффузивные образования прорваны штоками, лаколитами и другими интрузивными телами, может быть использована модель с наклонной границей раздела и высокоомной подстилающей средой. Кривые ВЭЗ при расположении симметричной установки зондирования Шлюмберже по разные стороны от линии контакта сред имеют одинаковую форму и отличаются лишь наличием резких расхождений на перекрытиях ($\delta = \pm 200$) при $\chi > 0$. При расположении центра зондирования над областью выклинивания линии контакта, кривая ρ_k имеет "елочный" вид с постоянным расхождением кажущихся сопротивлений.

Если водоносные горизонты представляют собой ограниченные по простиранию тела, то при формировании ГЭМ они аппроксимируются горизонтально-вытянутыми сфероидами. Такие объекты залегают в песчано-глинистых отложениях и при рассмотрении фрагмента разреза могут быть приняты за однородную проводящую среду. Кривые ВЭЗ для всех установок в этом случае имеют положительный максимум. Из них зависимости ρ_k установкой Веннера имеют самый низкий уровень экстремума, что составляет 30% от фона. Максимальное отклонение ρ_k от фона (55°) характерно для кри-

вых осевой установки ($AB=BM=MN$) и трехточечной Шлюмберже. Кривые зондирования трехэлектродной установкой Шлюмберже имеют несколько расхождений на перекрытиях, характерной особенностью которых является противоположность градиента при расположении установки над сфероидом с небольшим смещением от его центра.

На основании сформированных ГЭМ для различных типов месторождений подземных вод Приморского края была составлена схема районирования по типам геоэлектрических моделей (рис.2). Преобладающими для края являются: двухслойная полого-слоистая модель с высокоомным подстилающим горизонтом, многослойные модели с субгоризонтальными границами раздела, модель с наклонной границей раздела и выклинивающимся пластом, модель с локальным протяженным включением.

Представленные геоэлектрические модели гидрогеологических провинций Приморского края могут быть использованы при формировании

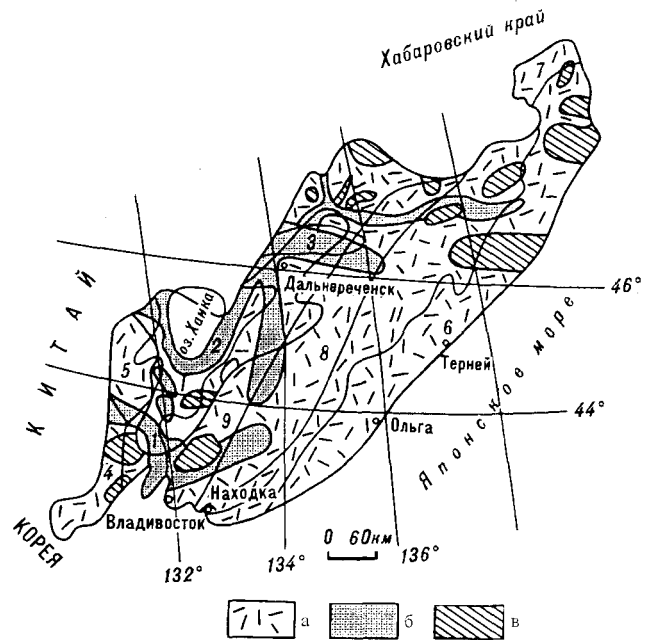


Рис.2 Комплексная карта районирования Приморского края по преобладающим типам геоэлектрических моделей.

I – Приханкайский сложный артезианский бассейн, II – Бассейн трещинных вод складчатой системы Сихотэ-Алиня и отрогов Восточно-Маньчжурского нагорья.

Гидроэкологические провинции: 1–Южно-Приханкайская, 2–Приханкайская, 3–Северо-Приморская, 4–Барабашская, 5–Пограничная, 6–Вулканогенная, 7–Синклиниорная, 8–Центрально-Сихотэ-Алинская, 9–Западно-Сихотэ-Алинская.

а – двухслойная горизонтально-слоистая модель с высокоомным подстилающим горизонтом, б – многослойная модель с горизонтальными и наклонными границами раздела, в – модель с локальным протяженным включением.

оптимального набора физико-математических моделей, для которых возможен расчет кажущихся удельных сопротивлений и поляризуемостей. Отличие модели от реальной среды, даже при использовании эффективных алгоритмов, неизбежно приводит к ошибочным результатам. Поэтому, кроме оперативного расчета теоретических кривых, необходим анализ структуры поля и отбор критериев обнаружения и локализации доминирующих объектов геоэлектрического разреза. Для горизонтально-неоднородных сред решение поставленных задач представляет значительные трудности и в

данной работе наметились лишь некоторые приемы анализа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гидрогеология СССР, т. XXV, Приморский край / Под ред. Сидоренко А.В. -М.: Недра, 1968. 520 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18, Дальний Восток. Вып. 3 Приморье. Л.: Гидрометеониздат, 1972. - 475 с.
3. Рынков В.С., Петайчук М.В., Шарапанов Н.Н. Подземные воды Приморья // Разведка и охрана недр. 1980. №6, С.41-46.

Поступила в редакцию 1 августа 1995г.

T.V. Selivanova, N.G. Shkabarnya

Geoelectrical models of hydrogeological targets the Primorie Territory

The paper presents type geoelectrical models of the Primorie Territory hydrogeological provinces. The developed models give a generalised and formalized idea of water-bearing structural-material complexes with their electrical parameters and the obtained sounding curves. Prevailing for the Primorie Territory are: a double-layer low-angle layered model with a high- Ω underlying horizon, multilayer models with subhorizontal boundaries, a model with an inclined boundary and a pinching out bed, and a model with a local extended inclusion. On the basis of the generated geoelectrical models for different types of underground water deposits of the Primorie Territory, a zoning sketch map was compiled by the types of geoelectrical models.