

УДК 550.837.211(571.64)

*В. М. Никифоров, И. М. Альперович, А. И. Гаврилов,
В. Э. Кононов, В. В. Харахинов, Ю. Г. Слуднев*

СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА

(по данным МТЗ)

По результатам магнитотеллурических зондирований в осадочной толще Северного Сахалина выделены снизу вверх два комплекса отложений — анизотропный и изотропный, отличающиеся характером электропроводности и типом емкостного пространства, заполненного флюидом. Границы комплексов, их пространственное и возрастное положение определяются термодина-

Для изучения осадочной толщи Северного Сахалина применяется метод магнитотеллурического зондирования [2, 3]. В последние годы в результате сгущения сети наблюдений и внедрения машинной обработки материалов и более совершенных методов интерпретации [4] получены новые сведения о строении крупных электрических неоднородностей осадочной толщи, имеющие важное нефтегеологическое значение.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ

Как известно, при магнитотеллурических зондированиях электропроводность отложений изучают в двух взаимно пересекающихся направлениях, обычно совпадающих и перпендикулярных простиранию основных структурных элементов, что позволяет делать выводы о степени однородности электрических свойств среды. Для значительной части территории Северного Сахалина отмечено расхождение продольных (вдоль складчатости) и поперечных кривых МТЗ в интервале периодов, характеризующем нижние горизонты осадочной толщи. При этом значения сопротивлений на продольных кривых в большинстве случаев значительно выше, чем для тех же периодов на поперечных кривых. Такое соотношение, как показали расчеты [4], нельзя объяснить региональными гальваническим (для поперечных кривых) или индукционным (для продольных кривых) эффектами или только различным проявлением на продольных и поперечных кри-

мическими условиями недр и, в частности, влиянием глубинного тепла, проводником которого являются крупные коромантийные разломы.

Произведено районирование основания изотропной толщи по электрическим свойствам. Особенности строения осадочной толщи показаны на ряде субширотных геолого-геофизических разрезов.

вых проводящих зон в земной коре и верхней мантии.

Основной причиной, обусловившей полученное при работах МТЗ соотношение кривых, является, судя по имеющимся геолого-геофизическим материалам, различный характер электропроводности в верхней и нижней частях проводящей осадочной толщи земной коры [3]. Верхняя (изотропная) часть представлена отложениями, проводимость которых слабо зависит от направления тока и связана с наличием пор в породе. Нижняя (анизотропная) часть сложена породами, обладающими различным сопротивлением в зависимости от направления тока. Анизотропия сопротивлений обусловлена существованием системы односторонне ориентированных трещин, служащих каналами для электрического тока (если трещины заполнены проводящим флюидом). Вдоль системы трещин (оси анизотропии) сопротивление пород является минимальным и его величина соизмерима с сопротивлением изотропной части разреза. В ортогональном направлении сопротивление пород возрастает в несколько раз.

Таким образом, характер электропроводности осадочной толщи Северного Сахалина позволяет выделить в ее пределах две крупнейшие электрические неоднородности, соответствующие двум литофизическим комплексам с различными типами емкостного пространства горных пород. Верхнему комплексу присущ поровый, нижнему — трещинный тип коллекторов нефти и газа. Изотропными являются нормально осадочные неогеновые породы различного возрастного диапазона, анизотропными — трещиноватые уплотненные верхнемеловые и олигоцен-среднемиоценовые отложения.

Разделение осадочной толщи Северного Сахалина на изотропный и анизотропный комплексы обусловлено не возрастными отличиями структурно-стратиграфических подразделений, а различным физическим состоянием вещества, зависящим от термодинамического воздействия глубинных слоев Земли и существующих тектонических полей напряжений.

В нижних горизонтах осадочной толщи на ряде участков отмечается аномальная литификация отложений, выражающаяся в резком увеличении их сопротивлений. Причиной литификации является воздействие термодинамических процессов в зоне коромантийного Хоккайдо-Сахалинского разлома [1]. Поступление глубинного тепла в низы осадочного разреза приводит к уплотнению и обезвоживанию пород, в результате чего они становятся непроницаемыми и приобретают свойства высокоомного основания. Верхняя граница литификации находится в тесной зависимости от местоположения глубинного разлома. Вблизи зоны разлома процессы литификации захватили породы в большом возрастном диапазоне — от верхнемеловых до верхнемиоценовых включительно, залегающие на глубинах от 2 до 4—6 км. При удалении от зоны разлома литификация пород в основном охватывает раннекайнозойские и верхнемеловые образования, по-видимому, большей частью связана со значительной глубиной их палеопогружения (от 4 до 10 км) и происходящими при этом катагенетическими изменениями пород.

Повышенный температурный режим недр вызывает не только литификацию пород, но оказывает воздействие и на возникновение трещиноватости. Одной из главных причин при этом, вероятно, является наличие влаги в породах. При температуре свыше 100—150°C вода, переходя из одного агрегатного состояния в другое, может выполнять роль рабочего тела. При этом резко возросшее давление паров приводит к образованию трещин, ослабленных зон или зон разуплотнения, в которых происходит разрядка избыточного давления.

СТРОЕНИЕ ИЗОТРОПНОГО КОМПЛЕКСА

Изотропный комплекс осадочной толщи Северного Сахалина образован в основном кайнозойскими песчано-глинистыми отложениями, в которых поровое пространство заполнено минерализованной водой. Мощность комплекса меняется от 1 км на отдельных поднятиях до 6—9 км в синклиналильных зонах (рис. 1, А). Подошва изотропных образований в целом для Северного Сахалина не является стратиграфической границей, как упоминалось выше, хотя в некоторых районах она контролируется стра-

тиграфическими разделами. Гипсометрический уровень этой границы скачкообразно меняется по крупным разрывным нарушениям, которым соответствуют градиентные зоны изменения мощностей изотропного комплекса. Наиболее четко такие зоны проявляются в восточной части Северного Сахалина, в зоне Хоккайдо-Сахалинского коромантийного разлома. По-видимому, особенности строения дизъюнктивной сети, по которой поступало глубинное тепло, контролировали сферу влияния последнего. В связи с этим рельеф подошвы изотропного комплекса приобрел мозаичную форму.

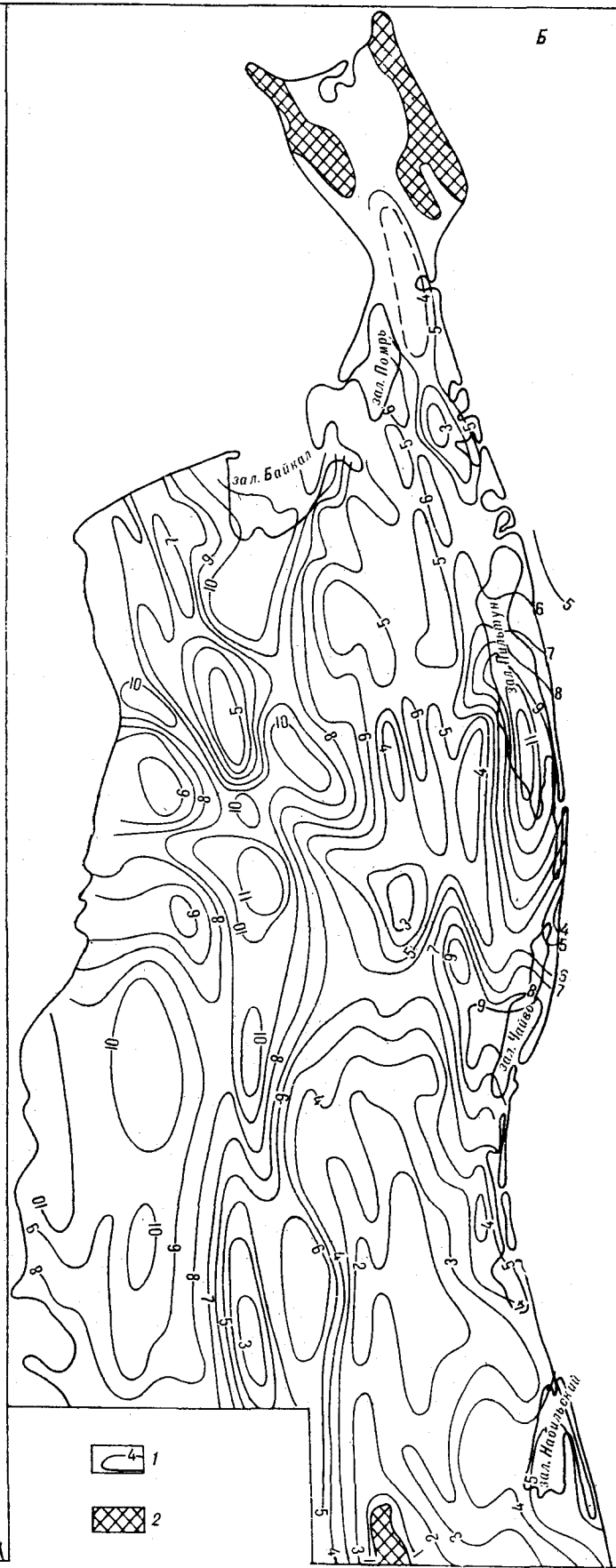
В изотропной части осадочной толщи Северного Сахалина наблюдается тесная связь между электрическими сопротивлениями крупных комплексов и литологическим составом слагающих их пород. На большей части территории выделяются два электрических горизонта: верхний, мощностью 1000—1500 м, относительно высокоомный с сопротивлением 15—30 Ом·м, представленный преимущественно песчаными верхнемиоцен-плиоценовыми образованиями, и нижний, мощностью 1500—6000 м, относительно низкоомный с сопротивлением 5—15 Ом·м, сложенный в основном глинисто-песчаными и песчано-глинистыми нижне-среднемиоценовыми отложениями (рис. 2). Переход между электрическими горизонтами обычно плавный и занимает интервал глубин от нескольких десятков до сотен метров.

На некоторых участках восточной части Северного Сахалина в изотропном комплексе выделяются четыре электрических горизонта (сверху вниз): 1 — высокоомные преимущественно песчаные плиоценовые и верхнемиоценовые породы нутовской свиты с сопротивлением 15—30 Ом·м и мощностью до 3 км; 2 — низкоомные (4—7 Ом·м) песчано-глинистые среднемиоценовые отложения окобыкайской свиты мощностью до 3—4 км; 3 — горизонт повышенного электрического сопротивления (более 15 Ом·м) мощностью 1,5—2 км, сложенный глинисто-песчаными среднемиоценовыми породами дагинской свиты; 4 — низкоомные (4—6 Ом·м) глинистые нижнемиоценовые и частично верхнемеловые отложения мощностью до 2 км. Участки такого дифференцированного геоэлектрического разреза распространены фрагментарно в виде небольших тел длиной 15—20, шириной 7—10 и высотой 4—10 км. Нижние части изотропно-проводящего комплекса контактируют с одновозрастными породами анизотропного комплекса, образующего выступы уплотненных трещиноватых отложений длиной 30—50, шириной 10—30 и высотой 1—4 км (см. рис. 2, III).

К участкам с дифференцированным по электрическим сопротивлениям строением изотропного комплекса пространственно приурочены

А

Б



наиболее крупные месторождения Северного Сахалина, что представляется вполне закономерным, поскольку здесь наблюдается оптимальное для процессов нефтегазоаккумуляции чередование литологических горизонтов с хорошими коллекторскими и экранирующими свойствами. Поиски участков с таким строением осадочного разреза становятся важной задачей работ МТЗ на Северном Сахалине.

РАЙОНИРОВАНИЕ СЕВЕРНОГО САХАЛИНА ПО ТИПУ ОСНОВАНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изотропный комплекс подстилается как анизотропно-проводящими, так и непроводящими (сильно литифицированными) отложениями различного возраста. Анизотропные и литифицированные породы создают крупные электрические неоднородности, хорошо проявляющиеся на кривых МТЗ. Их анализ позволил провести районирование Северного Сахалина по электрическим свойствам основания изотропной толщи (рис. 3).

В западной части Северного Сахалина (зона I) изотропная толща подстилается высокоомным вулканогенно-осадочным комплексом отложений верхнемелового и палеогенового возраста, в свою очередь, перекрывающим анизотропно-проводящие осадочные верхнемеловые породы (см. рис. 2). На отдельных участках этой территории (зона II) отмечаются зоны отсутствия вулканогенно-осадочных пород, в пределах которых изотропные раннекайнозойские отложения непосредственно контактируют с анизотропными верхнемеловыми образованиями (см. рис. 2, 3). Возможно, что в состав анизотропно-проводящего комплекса входят и раннекайнозойские и песчано-глинистые отложения.

В северо-восточной и южной частях Северного Сахалина высокоомным основанием изотропного комплекса являются непроводящие мезозойско-кайнозойские, главным образом, верхнемеловые образования (зона III), находящиеся на ранних стадиях метатектонизма и играющие роль электрического «фундамента».

В центральной и южной частях восточной половины Северного Сахалина (зона IV) электрическим «фундаментом», подстилающим изотропный комплекс, служат непроводящие литифицированные породы различного возраста — от верхнего мела до среднего миоцена. Контуры зоны имеют сложную форму, а поло-

жение поверхности высокоомного основания в стратиграфическом разрезе является непостоянным. Это происходит, вероятно, из-за неодинаковой активности основного проводника глубинного тепла — Хоккайдо-Сахалинского разлома на всем его протяжении.

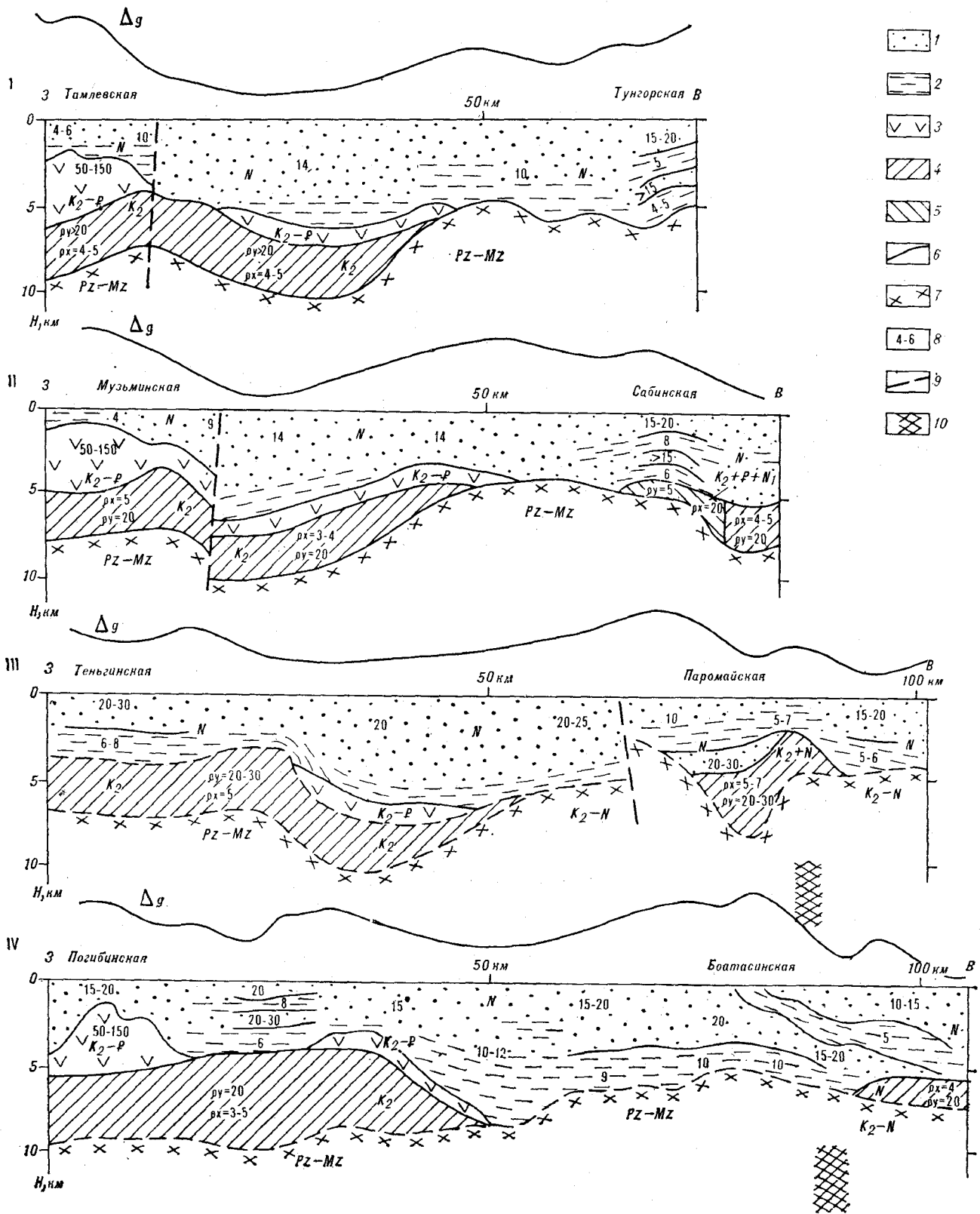
Вдоль восточного побережья Северного Сахалина (зоны V и VI) изотропный комплекс подстилается раннекайнозойскими и частично верхнемеловыми анизотропно-проводящими глинистыми и песчано-глинистыми породами. Зоны V и VI различаются ориентацией осей анизотропии (в первом случае — субмеридиональной, во втором — субширотной).

Таким образом, районирование Северного Сахалина по типу основания изотропных отложений показало, что наиболее сильно термодинамическое воздействие недр на осадочную толщу региона проявляется в восточной половине острова. При этом в западной части территории (зоны III и IV) процессы литификации под влиянием глубинного тепла охватили верхнемеловые и нижнемиоценовые отложения так глубоко, что они, в сущности, превратились в электрический «фундамент» осадочной толщи (в состав последней включаются проводящие флюидосодержащие неметаморфизованные осадочные отложения). По-видимому, эти процессы в пределах зон III и IV завершились в конце нижнего миоцена. Восточнее этой территории, в пределах зон V и VI, анизотропно-проводящий комплекс, включающий породы от верхнемеловых до верхнемиоценовых (включительно), подстилается на различных участках «фундаментом», сложенным из отложений того же возрастного диапазона. Процессы литификации на побережье Охотского моря захватывают частично и плиоценовые породы. Наблюдается явная миграция тепловых потоков в пространстве и времени в восточном направлении. Возможно, что в западной части Северного Сахалина электрическим «фундаментом» осадочной толщи служит нижняя часть разреза верхнемеловых образований. Прослеживаемая здесь по данным МТЗ нижняя граница осадочных отложений является, скорее всего, не стратиграфической, а литофизической, созданной в результате значительного влияния термодинамических процессов мелового времени.

СТРОЕНИЕ АНИЗОТРОПНОГО КОМПЛЕКСА

В пределах Северного Сахалина четко выделяются два района распространения анизотропного комплекса: западный и восточный (рис. 4). В западном районе комплекс, сложенный верхнемеловыми отложениями, развит почти повсеместно, за исключением небольшого ло-

Рис. 1. Карта мощностей изотропно-проводящих (А) и «рыхлых» (Б) осадочных отложений. 1 — изопакиты, км; 2 — выходы на поверхность высокоомного докайнозойского основания («фундамента»).



кального участка. Восточная граница района имеет сложную «заливообразную» конфигурацию, сопровождаясь при этом сравнительно узкой (5—10 км) полосой резкого увеличения мощности анизотропных отложений (от 0 до 3—4 км). Вероятнее всего, что такое резкое выклинивание комплекса контролируется «скрытым» разломом — проводником глубинного тепла, преобразовавшего нижние части осадочного разреза зон III и IV в непроводящие образования «фундамента».

На большей части западного района не наблюдается значительных изменений мощностей анизотропного комплекса. Они варьируют в пределах 3—4 км, причем изменения, судя по рисунку изопахит, контролируются в основном не стратиграфическими, а литофизическими границами. Как упоминалось выше, это явление может быть связано с фактом отражения подошвой комплекса смены физического состояния вещества внутри верхнемелового разреза.

Направление оси анизотропии в пределах западного района в основном субширотное. Возможно, что такая ориентация трещин связана с наличием здесь широкой сети региональных субширотных разрывных нарушений, прослеживающихся от Нижнего Приамурья до районов Северного Сахалина по данным многих геолого-геофизических методов.

В пределах восточного района анизотропная толща крайне не выдержана по латерали и имеет ограниченное распространение по площади в виде отдельных участков со сложной конфигурацией границ. Как отмечалось выше, наблюдается значительная изменчивость анизотропного комплекса в возрастном отношении — от верхнего мела до верхнего миоцена, а иногда и плиоцена. Причем при движении в восточном направлении все более молодые породы характеризуются анизотропией сопротивлений.

Отмечается определенная особенность в расположении систем трещин в восточном районе. К северу от Ныйского залива ось анизотропии имеет субширотное направление. Сопротивление пород вдоль нее составляет около 5 Ом·м, в ортогональном направлении — более 15 Ом·м.

На участках к западу от зал. Пильтун и южнее Набильского залива (см. рис. 2, 3) направление оси анизотропии субмеридиональное, сопротивление пород вдоль нее составляет 8—10 Ом·м, в широтном направлении — более 20 Ом·м. Смена простирания оси анизотропии, очевидно, вызвана различной ориентацией систем трещин, связанной с направлением боковых горизонтальных напряжений, и широким развитием субширотных разрывных дислокаций (в первом случае) и влиянием субмеридионального Хоккайдо-Сахалинского разлома (во втором случае). Мощность анизотропно-проводящей толщи в пределах восточного района меняется от 0 до 3 км.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ

Резюмируя изложенное, можно отметить, основные черты строения осадочной толщи Северного Сахалина, выявленные в результате работ МТЗ. Они хорошо видны и на геолого-геофизических профилях, пересекающих регион в субширотном направлении (см. рис. 2).

По характеру строения осадочной толщи четко различаются три района: западный (зоны I, II), центральный (зоны III, IV) и восточный (зоны V и VI) (см. рис. 2, 3).

Характерной особенностью осадочного разреза западного района является развитие мощного (до 4,5 км) анизотропного комплекса песчано-глинистых верхнемеловых образований. На значительной части территории района анизотропный комплекс перекрыт вулканогенно-осадочными отложениями верхнемелового-палеогенового возраста мощностью от 0,5 до 3—4 км. Изотропный комплекс представлен неметаморфизованными породами преимущественно неогенового возраста мощностью от 1 до 9 км.

Для центрального района характерно отсутствие анизотропного комплекса. Изотропные отложения мощностью от 2 до 7 км, представленные в основном неогеновыми породами, подстилаются «фундаментом», составленным из сильно литифицированных верхнемеловых и раннеогеновых отложений.

В восточном районе осадочная толща подразделена на анизотропный и изотропный комплексы, составленные в основном неогеновыми породами, различными по возрасту. «Фундаментом» при этом служат также неогеновые сильно литифицированные отложения.

Наблюдается, таким образом, миграция процессов «уничтожения» (эрозии) снизу осадочного слоя Северного Сахалина в пространстве

Рис. 2. Геолого-геофизические разрезы по профилям (местоположение разрезов указано на рис. 4).

1 — песчаные, 2 — глинистые, 3 — вулканогенно-осадочные отложения; 4 — анизотропно-проводящие отложения с широтным направлением оси анизотропии; 5 — анизотропно-проводящие отложения с меридиональным направлением оси анизотропии; 6 — границы электрических (литологических) комплексов; 7 — высокоомное основание (электрический «фундамент»); 8 — значения электрических сопротивлений в Ом·м; 9 — разрывные нарушения; 10 — глубинный разлом.

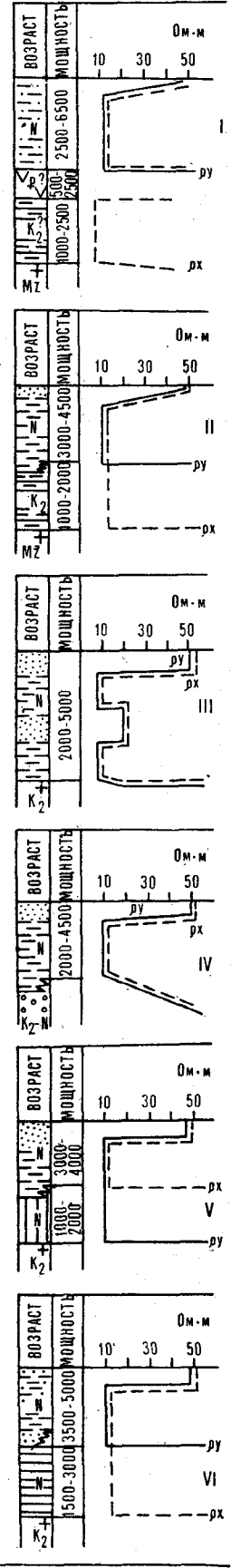
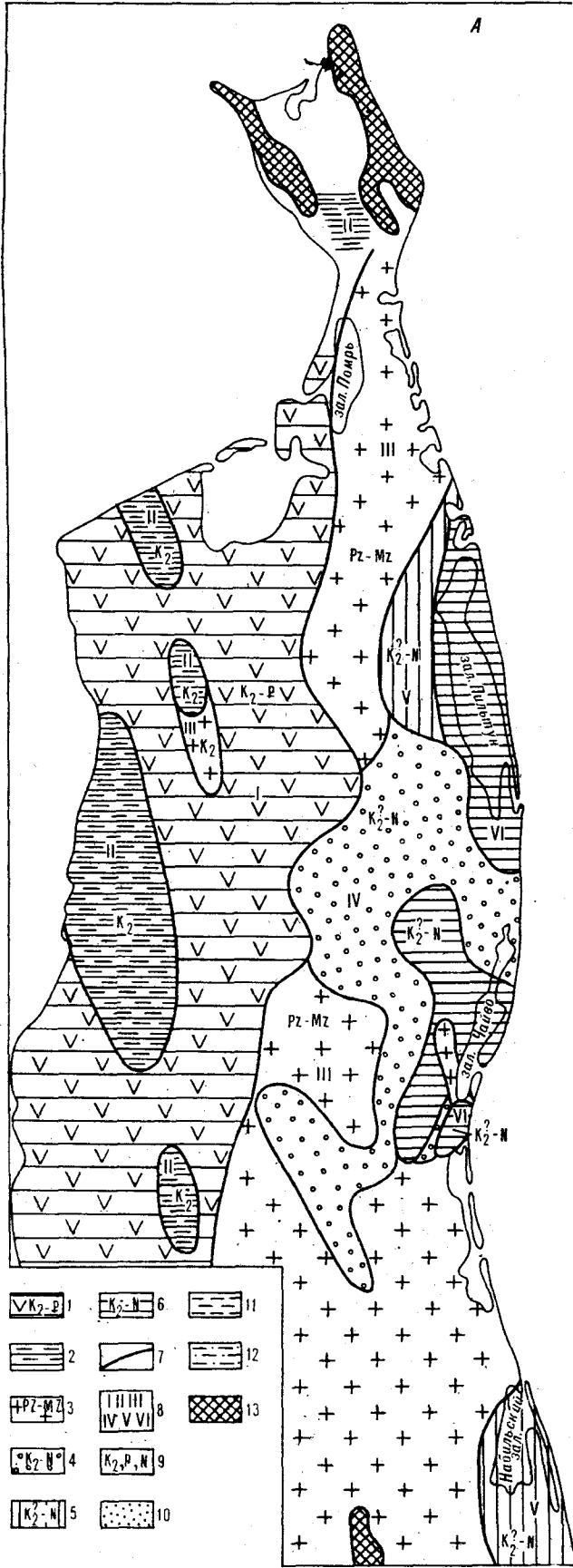


Рис. 3. Северный Сахалин. Схема районирования по электрическим свойствам основания изотропно-проводящего комплекса (А) и геоэлектрические разрезы (Б).

1 — вулканогенно-осадочный комплекс; 2 — анизотропно-проводящие верхнемеловые терригенные отложения (направление оси анизотропии широтное); 3 — высокоомное мезо-палеозойское основание; 4 — литифицированные породы верхнемелового — неогенового возраста; 5 — анизотропно-проводящие (направление оси анизотропии меридиональное) отложения верхнемелового — неогенового возраста; 6 — анизотропно-проводящие (направление оси анизотропии широтное) отложения верхнемелового — неогенового возраста; 7 — граница зон основания изотропно-проводящего комплекса; 8 — зоны основания изотропно-проводящей толщи; 9 — возраст отложений основания в различных зонах; 10 — песчаные, 11 — глинистые, 12 — песчано-глинистые отложения; 13 — выходы высокоомных докайнозойских пород на поверхность.

и во времени. При движении на восток все более молодые отложения оказываются вовлеченными в процесс интенсивной литификации. На восточном побережье региона литифицированной оказывается уже нижняя часть плиоценового разреза. Геометрия рельефа основания осадочной толщи (см. рис. 1, Б) определяется в большей мере не структурно-тектоническими, а термодинамическими условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выделенные электрические неоднородности осадочной толщи Северного Сахалина отражают два крупнейших литофизических комплекса: изотропный и анизотропный, характеризующиеся различными типами емкости пространства. В нефтегазоносном отношении они представляют собой два различных перспективно-нефтегазоносных этажа с разными типами коллекторов и ловушек нефти и газа, т. е. два основных поисковых объекта, для изучения которых необходимы существенно разные методики нефтегазопоисковых работ. Выяснение деталей строения комплексов имеет важное прикладное значение.

2. Пространственное и возрастное положение комплексов, как и всей осадочной толщи Северного Сахалина, определено термодинамическими условиями недр. Границы толщ и комплексов с различным физическим состоянием вещества большей частью контролируются влиянием глубинного тепла, проводником которого являлись крупные коромантийные разломы.

3. Латеральные и вертикальные неоднородности изотропного комплекса связаны в основном с довольно резкой литолого-фациальной изменчивостью стратиграфических подразделений неогена Северного Сахалина.

4. Неоднородности анизотропного комплекса вызваны большей частью изменением литофизических параметров разреза, зависящих от степени термодинамического воздействия недр и существующих полей тектонических напряжений.

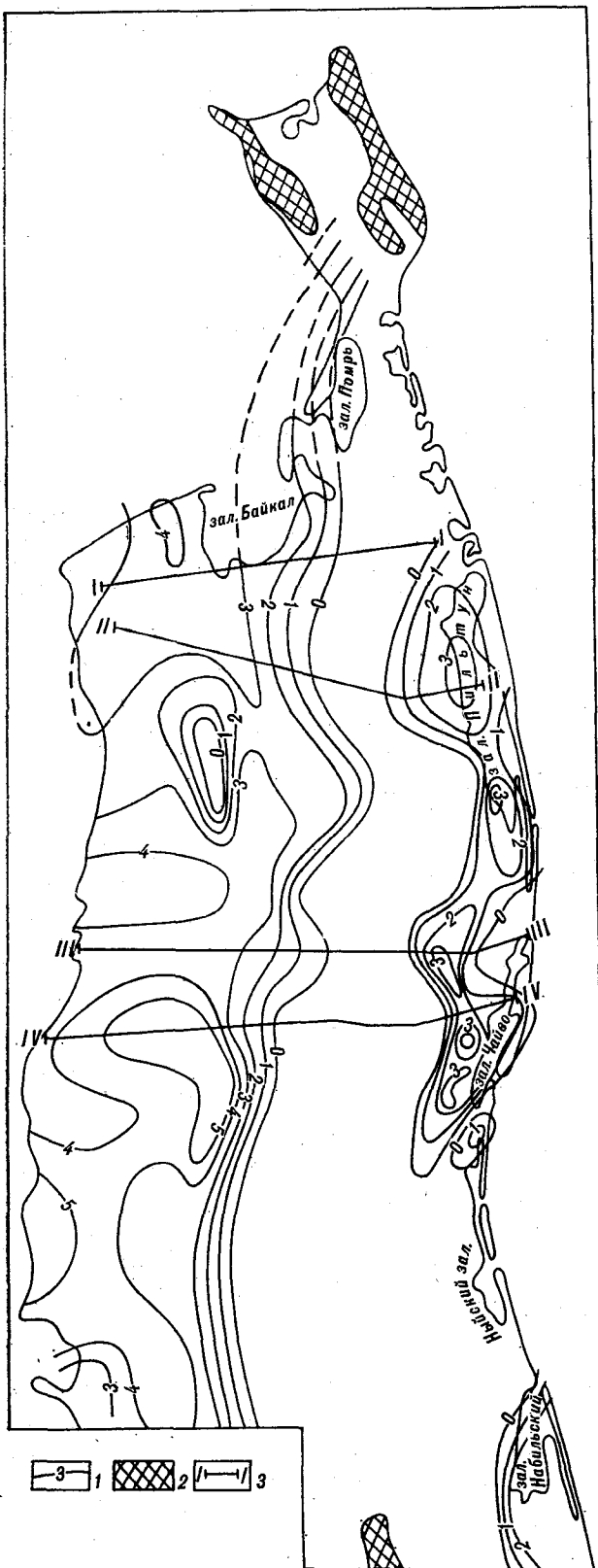


Рис. 4. Карта мощности анизотропно-проводящих осадочных отложений.

1 — изопахиты, км; 2 — выходы на поверхность высокоомного докайнозойского основания («фундамента»); 3 — линии геолого-геофизических разрезов,

ЛИТЕРАТУРА

1. Альперович И. М., Никифоров В. М., Харахинов В. В. Аномалии проводимости в земной коре о. Сахалин.— Докл. АН СССР, 1979, т. 244, № 5.
2. Альперович И. М., Никифоров В. М., Харахинов В. В. Изучение мощностей осадочных отложений на Сахалине методом магнитотеллурических зондирований.— Геол. и геофиз., 1980, № 3.
3. Альперович И. М., Никифоров В. М. Электропроводность осадочной толщи о. Сахалин.— Тихоокеанская геол., 1984, № 2.
4. Никифоров В. М., Альперович И. М., Ваньян Л. Л. Некоторые особенности кривых магнитотеллурического зондирования на Сахалине и методика их интерпретации.— Там же, 1983, № 2.

*ВПО Сахалинморнефтегазпром
Оха-на-Сахалине*

*Поступила в редакцию
15 июня 1984 г.*