

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИГД ДВО РАН)

УДК 622.831./3

ГР № 01201253447

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГД ДВО РАН

д-р техн. наук



И.Ю. Рассказов

«14» января 2015 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Научное обоснование методов оценки и прогнозирования
новейших геологических процессов по геофизическим данным при
освоении месторождений полезных ископаемых Дальневосточного региона

по теме:

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА
ОПАСНЫХ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ
ОСВОЕНИИ НЕДР ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

(заключительный)

(78)

Зам. директора по научной
работе, д-р техн. наук, доцент

Литвинцев В.С.

Руководитель темы:
директор института,
д-р техн. наук

Рассказов И.Ю.

Хабаровск 2014 г.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, директор
ИГД ДВО РАН, д.т.н., проф.



Рассказов И.Ю.
(раздел 1,2,3)

Зав. лаб. Проблем освоения
угольных месторождений
ИГД ДВО РАН, д.т.н., проф.

Шкабарня Н.Г.
Введение,
(раздел 2,3,4)
Заключение

г.н.с., д.т.н.



Шулюпин А.Н.
(раздел 7)

с.н.с., к.т.н.



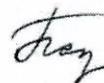
Шкабарня Г.Н.
(раздел 4,5,6)

инженер



Челпанов В.А.,
(раздел 1,2,3)

инженер



Бабаева А.П.,
(раздел 1,3)

Нормоконтролер



Самединова О.П.

РЕФЕРАТ

Отчет стр. 140, табл. 4, рис. 37, источников 65, Приложение 1.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, УГОЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ОПОЛЗНЕЙ, ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, СТРУКТУРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ, ТИПОВЫЕ МОДЕЛИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ, МЕСТОРОЖДЕНИЕ ПАРОГИДРОТЕРМ

Выполнены исследования с целью районирования территории Приморского края по проявлениям опасных геологических процессов (ОГП) и разработки научных основ технологии электрической томографии для определения структуры строения геологических разрезов при оценке и прогнозировании ОГП на типовом объекте Бикинском буроугольном месторождении. Рассмотрены проявления землетрясений, распространения осыпей, оползней, обвалов, эрозионных процессов и кор выветривания. Создан ГИС проект структурно-геологического районирования территории Приморья с выделением зон и районов совмещённых со схемой развития ОГП.

Сформированы типовые модели тектонических нарушений и оползневых процессов на месторождениях полезных ископаемых. Разработано программное обеспечение для моделирования электрических полей на поверхности горизонтально-неоднородных сред, аппроксимирующих элементы типовых моделей. На примере анализа результатов моделирования установлены закономерности полей, которые позволили установить критерии обнаружения и прослеживания элементов геоэлектрических разрезов ОГП на месторождениях.

Выполнен анализ ранее проведённых опытно-методических работ на участках ОГП Бикинского буроугольного месторождения и проведена оценка структурно-тектонического строения оползневых откосов угольного разреза.

Разработаны рекомендации по определению термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения. Определены условия фильтрации в призабойной зоне добычных скважин парогидротермальных месторождений России.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Факторы, влияющие на проявление современных геологических процессов	8
1.1 Природно-климатические факторы.....	8
1.2 Геологическое строение	11
1.3 Размещение угольных бассейнов и месторождений	13
2 Проявления геологических процессов.....	14
2.1 Проявления эндогенных процессов.....	14
2.2 Проявления экзогенных процессов	20
2.3 Морфоструктурный облик	45
2.4 Проявления аномальных геологических процессов	49
3 ГИС проект «Опасные геологические процессы» – «PrimOGP»	55
3.1 Работа с ГИС-проектом.....	57
4 Особенности геоэлектрических моделей опасных геологических процессов.....	58
4.1 Краткие сведения о геоэлектрических моделях.....	58
4.2 Общая характеристика ОГП на месторождениях Приморского края	59
4.3 Геоэлектрические модели ОГП на площади угольных депрессий и месторождений.....	57
5 Закономерности электрических полей над неоднородными средами.....	77
5.1 Назначение анализа результатов математического моделирования.....	78
5.2 Закономерности поля и критерии выделения элементов слоистой среды.....	79
5.3 Закономерности поля и критерии выделения элементов среды с вертикальными границами.	81
5.4 Закономерности поля и критерии выделения элементов среды с локальным объектом.	78
6 Оценка опасных геологических процессов методом электрической томографии на Бикинском буро-угольном месторождении.....	91
6.1 Геологическое и геоэлектрическое строение участков работ методом электрической томографии.....	91
6.2 Изучение тектонических нарушений и прослеживание поверхности выхода фундамента.	89
6.3 Изучение тектонических нарушений и прослеживание поверхности выхода фундамента.	100
7 Определение термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения на основе математического моделирования и измерений на устье добычных скважин.	101
7.1 Проблемы разработки месторождений парогидротерм Камчатки	101
7.2 Оценка условий фильтрации в продуктивном пласте Паужетского месторождения парогидротерм	108
7.3 Оценка условий фильтрации в продуктивном пласте Мутновского месторождения парогидротерм	115
7.4 Выводы	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	128

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	134

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВСК -	Вещественно-структурные комплексы
ВКР -	Внутриконтинентальных рифтов
ВЗ -	Вулканических зон
ГДК -	Геодинамические комплексы
АС -	Аккреационно-коллизионного скручивания
ГСС -	Геосинклинально-складчатая система
СМ -	срединный массив
СФК -	структурно-формационный комплекс
СФЗ -	структурно-формационная зона
ЭГП -	экзогенные геологические процессы
ОГП -	Опасные геологические процессы (явления)
МПИ -	месторождения полезных ископаемых
ГСЗ -	геолого-структурное зондирование
МПП -	метод переходных процессов
ОГП -	Опасные геологические процессы
ГЭМ -	геоэлектрическая модель
ФММ -	физико-математические модели
б/у -	буроугольные (месторождения)
к/у -	каменноугольные (месторождения)
ГИС -	Географическая информационная система
ПОУМ -	лаборатория «Проблем освоения угольных месторождений»

ВВЕДЕНИЕ

Данный отчёт является заключительным этапом исследований лаборатории «Проблем освоения угольных месторождений» (ПОУМ) по теме 3, разделу 2 «Научное обоснование методов оценки и прогнозирования новейших геологических процессов по геофизическим данным при освоении месторождений полезных ископаемых территории Дальневосточного региона».

Проявления современных геологических процессов верхней части литосферы на территории Дальневосточного региона зачастую характеризуются как опасные (ОГП) и оказывают существенное влияние на разработку полезных ископаемых, строительство различных объектов при освоении месторождений и качество условий среды обитания и жизнедеятельности людей. Следует отметить, что территория региона отличается от других регионов России чрезвычайно сложным геологическим строением большим разнообразием климатических условий и соответственно широким спектром проявлений ОГП. Такие условия связаны, в первую очередь, с положением региона на западном фланге Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода от Азиатского континента с жёстким кристаллическим основанием к Тихоокеанскому подвижному поясу с активными тектоническими процессами.

Опасные геологические процессы при открытом способе отработки месторождений проявляются в виде оседания блоков, оползневых явлениях, суффозиях бортов разрезов, значительных водопритоков. При подземном способе в виде больших водопритоков, прорывах вод и водно-песчаной пульпы в горные выработки, *горных ударов, внезапных выбросов пород и газа*. Пусковым механизмом опасных процессов являются землетрясения, прохождение тайфунов-циклонов и хозяйственная деятельность.

Кроме того, при разработке месторождений особенно подземным способом, отсутствие оперативной информации о локализации запасов, горно-геологических условиях отработки, расположении тектонических нарушений и гидрогеологических параметрах резко осложняет добычу угля и руды. Поэтому при проектировании и эксплуатации месторождений необходимо представлять структурно-тектоническое строение, фактические свойства горных пород, возможные участки развития ОГП, а так же учитывать природные факторы воздействия конкретной территории. Оценка и прогноз ОГП в пределах месторождения должны своевременно определять предупредительные меры и, в конечном счёте, экономическую и экологическую целесообразность разработки месторождения полезных ископаемых.

Эффективной технологией исследования горногеологических условий с оценкой проявления ОГП является бурение скважин. Но учитывая резкую дифференциацию физических свойств вмещающих горных пород и геометрических параметров разрезов в сложных геологических условиях, применение такой технологии требует бурения большого количества скважин по густой сети, а следовательно, значительных ассигнований. Поэтому для оценки и прогнозирования ОГП при отработке месторождений на современном этапе необходимо

применять новые геофизические технологии, которые позволяют изучать геометрические и физические параметры разреза практически непрерывно на площади исследования. Электрическая томография, как одна из геофизических технологий, может эффективно использоваться для детального изучения характеристик разрезов на участках развития ОГП, а так же отслеживать их изменение во времени при мониторинговых наблюдениях.

В процессе исследований 2012-2014 годов предусматривалась разработка научных основ технологии электрической томографии для определения структурного строения территории и прогнозирования ОГП на типовом объекте Бикинском бурогольном месторождении. В результате разработаны технологии (на основе математического моделирования электрических полей), анализа результатов моделирования и определения критериев обнаружения и прослеживания границ и локальных объектов, аппроксимирующих элементы геологического разреза на участках ОГП. Предварительно было проведено районирование территории Приморского края, который принят в качестве полигона, по проявлениям опасных геологических процессов. На территории которого ОГП характеризуются большим разнообразием.

На заключительном этапе (2014 г) создан ГИС проект схем структурно геологического и морфоструктурного районирования территории Приморского края совмещённых со схемами развития ОГП. На основе анализа результатов математического моделирования для выбранных горизонтально неоднородных сред и томографических систем наблюдений установлены закономерности электрического поля с определением критериев наблюдения и прослеживания элементов геоэлектрических разрезов ОГП. На месторождениях полезных ископаемых.

Проведён анализ ранее выполненных работ на участках развития ОГП Бикинского бурогольного месторождения.

Планируемые задачи выполнены в полном объёме. В работах принимали участие сотрудники лаборатории ПОУМ.

1 Факторы, влияющие на проявление современных геологических процессов

Современные геологические процессы часто являются причиной чрезвычайных и катастрофических геодинамических событий. Геодинамическая опасность связана с высвобождением энергии и перемещением масс вещественных комплексов. Вещественные комплексы перемещаются в результате воздействия эндогенных, экзогенных и техногенных процессов. Техногенное воздействие на геолого-геоморфологические системы может ускорить (замедлить) функционирование не только экзолитодинамических, но и эндодинамических потоков. В связи с тем что, существуют прямые и обратные связи между эндо-, экзо- и техногенными процессами целесообразнее говорить о комплексной геодинамической опасности.

Проявления экзогенных процессов в Дальневосточном регионе обуслов-

лены, комплексным воздействием направленно-циклического изменения климата, следующего за направленно-циклическими изменениями геологической среды происходящими в результате проявления эндогенных геологических процессов. Это в первую очередь пульсирующий характер проявления тектонических процессов (чередование условий сжатия и растяжения земной коры в регионе, этапы внедрения крупных интрузивных тел, возникновение и подновление тектонических нарушений, а так же проявление вулканизма) и такой же направленно-циклический характер изменения уровня мирового океана.

На территории Приморского края, обладающего большим разнообразием геологических и климатических условий, наблюдается широкий спектр современных геологических процессов и явлений. Многие из них, включая современные движения литосферных блоков земной коры, землетрясения, тайфуны, циклоны, наводнения, абразия, цунами, лесные пожары, экстремально резкие перепады температуры, мерзлотные и другие процессы, характеризуются на территории края как аномальные.

Распространению и разнообразию форм проявления геологических процессов в Приморском крае способствует как природные, так и техногенные факторы. Природными факторами являются: географическое положение территории, геоморфологические (рельеф, крутизна склонов) и гидрографические (густота речной сети, гидрографы стока) характеристики, климат (вариации и перепады температуры, атмосферные осадки и режим их выпадения); особенности структурно-тектонического строения территории; гидрогеологические условия (режим подземных и поверхностных вод); гидрологические особенности территории (базисный уровень водосборных бассейнов, расход и скорость воды в реках); интенсивность проявления эндогенных и экзогенных геологических процессов.

Техногенными факторами являются: изменение характеристик поверхностной гидросферы (нарушение естественного стока атмосферных осадков – создание водохранилищ, каналов и прудов); нарушение режима подземных вод, изменение состояния массива грунтов (статические и динамические нагрузки); изменение термического режима грунтов; техногенный литогенез.

1.1 Природно-климатические факторы

Приморский край располагается на восточной окраине самого крупного материка земного шара и на западном побережье самого большого на Земле океана (рисунок А. 1). Он занимает самую южную часть российского Дальнего Востока, выходящую к незамерзающему Японскому морю. Самая северная часть Приморского края находится на границе с Хабаровским краем, вблизи истоков р. Дагды – притока р. Самарги ($48^{\circ} 23'$ с.ш.), крайняя южная – в устье р. Туманная (Туманган, Тумыньцзян) на границе с Корейской Народной Демократической Республикой ($42^{\circ} 18'$ с.ш.). Крайняя западная точка Приморья находится на границе с Китайской Народной Республикой, вблизи истока р. Новгородки в Хасанском районе ($130^{\circ} 24'$ в.д.), крайняя восточная – мыс Золотой ($139^{\circ} 02'$ в.д.) на побережье Японского моря.

Территория Приморского края – $165,9$ тыс. км², что составляет около 1 % площади Российской Федерации. Протяжённость его границ ~ $4\ 000$ км, в т. ч:

по морю – 1822 км с КНР – 1145 км; с КНДР – 17 км. Кроме материковой части в состав Приморского края входят многочисленные острова залива Петра Великого: Русский, Попова, Рейнеке, Рикорда, Аскольд, Путятин, Петрова, Римско-Корсакова и др.

Приморский край расположен в средних широтах в южной части умеренного географического пояса, в зоне смешанных лесов. Горная система Сихотэ-Алинь и отроги Восточно-Маньчжурской горной страны, Приханкайская равнина – основные формы рельефа края. Характерная черта облика рельефа края – преобладание горного рельефа.

Климат. Специфика развития атмосферных процессов и формирование климата Сихотэ-Алиня определяются его положением на окраине огромного Евразийского материка и постоянным воздействием активного перемещения воздушных масс с океана на материк в теплое время года (летний муссон) и, наоборот, в зимний период (зимний муссон), поэтому климатические условия Приморья имеют ряд характерных черт, которые присущи муссонному климату. Важной особенностью климата является быстро нарастающая континентальность по мере удаления от морского побережья. По температурному режиму климат на большей части территории определяется как резко континентальный [1] и только в южных районах, смягчается до континентального.

Изменения температуры. Самый теплый месяц на юге – август, на севере – июль. Абсолютный максимум (+41 °С) отмечен в п. Кавалерово. Зима холодная, малоснежная. Самый холодный месяц – январь (–20 °С). Абсолютный минимум (–49 °С) (зарегистрирован в п. Мельничное). Промерзание почвы и формирование наледей начинается в начале ноября. Глубина промерзания 1,0–1,5 м под снежным покровом и 1,6–2,0 м на оголенной поверхности. Оттаивание почвы начинается в марте и заканчивается в начале мая, на заболоченных участках – в июне-июле. Снежный покров в Приморском крае маломощен, его высота на равнине 0,2–0,3 м, в горах – до 1,6 м. Процесс таяния снега заканчивается к началу апреля и весеннего половодья не вызывает. Однако на реках наблюдаются наводнения связанные с возникновением ледяных заторов.

Осадки. Принято считать, что по количеству осадков Приморье относится к области с избыточным увлажнением. Среднее количество осадков в горной части достигает 800–1000 мм в год, в предгорьях – 600–700 мм, а на побережье оз. Ханка ~ 500 мм. Основная масса осадков (92–94 %) выпадает в теплый период года; 43–50 % осадков приходится на летние месяцы, когда преобладают ливневые дожди, обусловленные выходом на Приморье тропических тайфунов и циклонов. Рекордное количество – 1606 мм (почти две годовые нормы), было зарегистрировано в Ольгинском районе в 1932 г. Самая незначительная сумма осадков за год (237 мм, или 33 % нормы) была отмечена в Посъете в 1937 г., что аналогично историческому суточному максимуму (258,4 мм) в этом пункте за 30 августа 1998 г.

Наблюдения последних лет свидетельствуют о сокращении числа тропических циклонов и тайфунов, оказывающих влияние на Приморский край, начиная с 1997 года. Если в период 1945–1977 годы тропические циклоны и тай-

фуны выходили на территорию края один раз каждые три года, то в течение последних 30 лет эти явления отмечаются не чаще одного раза за 6 лет, хотя по данным статистической обработки более чем 60-летнего ряда наблюдений тайфунов в северотихоокеанском регионе стало несколько больше.

Ветры муссонного характера зимой дуют в основном с севера и северо-запада, а летом – с юга и юго-востока. Однако, значительная пересеченность территории края очень сильно влияет на передвижение воздушных масс, поэтому в ряде мест наблюдаются отклонения муссонов от их основного для данного сезона направления. Среднегодовая скорость ветра в южных районах в два – два с половиной раза выше, чем в северных. Например, у острова Аскольд она составляет 11,2 м в секунду, а у мыса Золотого – 5,3 м в секунду. Другой закономерностью является возрастание скорости ветра от зимы к лету в равнинной части. В теплый же период усиливается влияние тихоокеанских циклонов, поэтому скорости ветра возрастают. Штормы наиболее часто возникают на побережье края в холодное время года. На южном побережье, в районе мыса Поворотного, в среднем за год бывает 86 штормовых дней, в селе Астраханка, находящемся на 230 км северо-западнее мыса Поворотного, – всего 27.

Тенденции изменения климата. Для понимания направленности изменений проявления процессов гипергенеза необходимо рассмотреть кроме современного состояния тенденции их изменения хотя бы в течение наиболее изученной эпохи – четвертичного периода.

В плейстоцене-голоцене климат претерпел сильнейшие направленно-ритмические изменения. В процессе общего похолодания наблюдались теплые и холодные эпохи. Начиная с позднего плейстоцена и кончая голоценом, насчитывается четыре усиливающиеся волны холода. Холодные эпохи характеризуются интенсивной аккумуляцией, теплые – денудацией накопленного материала [2, 3].

В эпохи похолоданий в верхнем и среднем течении речных долин Приморья накапливалось огромное количество обломочного материала (*фазы аккумуляции*), который перерабатывался только наиболее крупными реками. Именно с похолоданием климата в позднем голоцене связана новая волна аккумуляции, отчетливо проявившаяся на западном склоне Сихотэ-Алиня и в Западно-Приморских впадинах. *Фазы эрозии* в позднем плейстоцене-голоцене (в континентальных районах – за пределами прибрежной зоны) увязывают с климатическими фазами теплых эпох. Отмечается наиболее раннее проявление эрозии в пределах равнин и переходных зонах и некоторое запаздывание в верхних звеньях речной сети.

1.2 Геологическое строение

В глобальном структурно-формационном аспекте территория Приморья представляет собой небольшой по размерам фрагмент внешней зоны Тихоокеанского подвижного пояса. Геологическое строение региона очень сложное, описывается по фондовым материалам [11, 12]. Для него характерно широкое разнообразие комплексов пород, типов тектонических структур, тектонических палеорежимов и условий осадконакопления, вулканизма, интрузивного магма-

тизма и метаморфизма. Геологическое строение Приморья определяется его пограничным положением между Ханкайским композитным массивом и молодыми рифтогенными кайнозойскими структурами Японского моря и Татарского пролива [4]. На территории Приморья отчетливо выделяются два мегаблока Ханкайский (Бурея-Ханкайский) и Сихотэ-Алиньский (Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинский).

Фундаментом Ханкайского мегаблока служат протерозойские кристаллические образования, которые перекрываются палеозойскими и раннемезозойскими вещественно-структурными комплексами (ВСК) пассивных и активных континентальных окраин. В позднем мезозое они перекрываются ВСК наложенных и унаследованно-наложенных впадин и отдельных грабенов. Унаследованно-наложенной структурой является Восточный Сихотэ-Алиньский вулканический пояс, который в мезозое развивался как островодужная система.

В кайнозое ВСК пассивных и активных континентальных окраин сами становятся фундаментом, на котором развивается впадины, выполненные терригенными, зачастую, угленосными осадками палеогена и неогена, местами перекрытые плато-базальтами.

Фундамент Сихотэ-Алиньского мегаблока слагают палеозойские и раннемезозойские вулканогенные ВСК, которые последовательно перекрываются вещественно-структурными комплексами внутриконтинентальных рифтов (ВР) и вулканических зон (ВЗ), геодинамическими комплексами (ГДК) аккреационно-коллизийного сгущивания (АС), меловых ГДК зрелых островных дуг, ГДК вулканических зон Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканического пояса. В кайнозое, по образовавшимся ВСК, развиваются рифтогенные впадины и вулканические поля плато-базальтов.

Мегаблоки разделены наиболее древним линеamentом глубинного заложения северо-восточного простирания – Арсеньевским разломом (Партизанский, Арсеньевский и Средне Бикинский разломы). Геологические блоки последующих уровней иерархии так же разделены крупными региональными разломами северо-восточного, северо-западного, меридионального и широтного направлений. Центральный Сихотэ-Алиньский разлом, в пределах Сихотэ-Алиньского мегаблока, отделяет Центральную СФЗ (Т–J) от более молодых (K₁–N) Восточной, Прибрежной и Кемской СФЗ. Геологические блоки последующих уровней иерархии так же разделены крупными региональными разломами северо-восточного, северо-западного, меридионального и широтного направлений.

По составу вещественно-структурных комплексов и структурно-тектоническим особенностям на территории Приморского края выделяют следующие геолого-структурные подразделения: Ханкайский массив; Области структур активных окраин массива; Сихотэ-Алиньская складчатая область. Окраинно-континентальные вулканические структуры; Наложённые впадины мелового возраста; Неотектонические структуры: Кайнозойские впадины и покровы плато-базальтов (рисунок А. 2).

В геологическом строении территории Приморья отмечается ряд особенностей. Первая особенность заключается в том, что формирование коры контин-

нентального и субконтинентального типа в регионе происходило последовательно с запада на восток на отрезке в 300 километров. В этом же направлении наблюдается последовательное омоложение (от архея до голоцена) тектонических структур, комплексов осадочных пород, вулканизма, интрузивного магматизма. Кайнозойские рифты Татарского пролива и Японского моря на материке сопровождаются – рифтогенными впадинами и вулканическими полями, а в Западном Приморье развивается внутриконтинентальный рифт и его впадины выполнены угленосными терригенными осадками палеогена и неогена, перекрытыми плато-базальтами.

Вторая особенность заключается в отчётливом проявлении цикличности геологических процессов. Циклы выражены через формирование прогибов, проявление вулканизма и интрузивного магматизма. Каждый цикл заканчивается перестройкой структурного плана, сопровождающейся тектонической вулканической активностью. Первый этап второго цикла закончился координальной перестройкой структурного плана и созданием Сихотэ-Алинского вулканического пояса. В это же время, по-видимому, сформировался и Арсеньевский разлом, который отделил образования второго цикла от первого.

1.3 Размещение угольных бассейнов и месторождений

Основные месторождения бурых и каменных углей Приморского края сосредоточены на юго-западе Приморского края в бассейне рек Партизанская, Раздольная и Артёмовка расположенных в южной части Ханкайского массива и его активной окраины, на территории длительно (с конца пермского периода) развивающегося Южно-Приморского прогиба. Прогиб сформировался на северном фланге депрессии залива Петра Великого, на пересечении южного продолжения линейной эшелонированной зоны Ханкайской грабен синклинали субширотного простирания, осложнённой кольцевой структурой Ханкайской синеклизы (супервулкана) и линейной эшелонированной субширотной Южно-Приморской структуры. Южной границей Южно-Приморского прогиба, по-видимому, является Владивостокский Береговой шов, северная граница проходит в районе р. Абрамовка и далее на восток, вероятно, сворачивает на север в сторону г. Арсеньев.

Общее простирание прогиба субширотное – юго-восточное, однако локальные структурные компоненты простираются субмеридионально, в северо-восточном направлении (Партизанский бассейн, крупные кайнозойские впадины, локальные излияния кайнозойских лав платобазальтов). Простирание прогиба подчеркивается общим субширотным простиранием излияний лав кайнозойских платобазальтов. Некоторые кайнозойские впадины северо-восточного простирания здесь выстраиваются в цепочки широтного простирания (Амбинская, Проваловская, Тавричанская, Артёмовская, Шкотовская).

В пределах прогиба выделяются разновозрастные угольные бассейны – Мангугайско-Синегорский (триасовый); Раздольненский, Партизанский (ренне-меловой) и Южно-Приморский - (кайнозойский). В пределах этих угольных бассейнов разведаны крупные месторождения бурых и каменных углей. Два триасовых каменноугольных месторождения расположены в центральной час-

ти, меловые каменноугольных месторождения выявлены на северо-западном (три в Раздольненском бассейне) и юго-восточном (четыре в Партизанском бассейне) флангах прогиба и 11 кайнозойских бурогольных месторождений в центральной (ближе к северо-восточному флангу) части прогиба (рисунок А. 3).

Бурогольные месторождения Турийрогское, Пограничное, Жариковское, Гоголевское, Бикинское и Алчанское располагаются на флангах Ханкайского бассейна в отрогках северо-восточного простирания. В юго-западной части Южно-Приморского бассейна известно, Краскинское, (отработанные) месторождения. Бурогольные месторождения Чернышевское, Малиновское, Ореховское, Белогорское, Маревское, Среднебикинское расположены в пределах Арсеньевского окраинного прогиба на территории Бикино-Уссурийского бурогольного бассейна. На территории Сихотэ-Алинской складчатой системы, кроме того, известны четыре слабо угленосные впадины – Верхнее-Бикинская, Максимовская, Зеркальная и Берёзовская. Месторождения бурых углей здесь небольшие.

2 Проявления геологических процессов

Геологические структуры, возникающие в результате проявления эндогенных процессов (движения геологических блоков, проявлений вулканизма и землетрясений), являются ареной воздействия экзогенных процессов (выветривания, денудации (эрозии и аккумуляции), абразии, криогенеза, солифлюкции, оползневых процессов, заболачивания, карстообразования). При этом эндогенные процессы определяют общую направленность изменений структуры земной коры и рельефа, а экзогенные процессы определяют процессы осадконакопления, пороодообразования и состав осадочной и метаморфической оболочек земной коры, сглаживание рельефа, возникновение скальных останцов и ландшафтов.

2.1 Проявления эндогенных процессов

Эндогенные геологические процессы обусловлены глубинными перемещениями геологических блоков горных пород литосферы, источником которых является внутренняя энергия Земли. Фактором, провоцирующим движения геологических блоков в Приморском крае, может быть перепаде высот геоида. Всё восточное побережье Азиатского материка (и территория Приморья) расположено на склоне крупнейшего Западно-Тихоокеанского поднятия геоида. При перепаде высот – 20 м скорость движения плит составляет 8,7–9 мм/год [5]. На территории к востоку от системы разломов Тан-Лу преобладают векторы смещения юго-восточного направления (115–120°), скорость перемещения от 10–15 до 35–40 мм/год, северная и центральная части Японской дуги активно сдвигаются относительно Евразии к западу (280–285°) со скоростью до 55 мм/год [6]. Вектор движения геологических блоков литосферной плиты может не совпадать с главным вектором движения и кроме того может возникать эффект закручивания. Некоторые блоки в процессе горизонтального перемещения будут подниматься, другие, компенсируя их подъем – опускаться. Геологические блоки, испытывающие подъем (относительно окружающих блоков), являются областью сноса рыхлого материала возникающего в процессе эрозии. На месте

геологических блоков испытывающих опускание возникают области накопления материала сносимого в процессе денудации.

Напряжения, возникающие в процессе движения, снимаются проявлением землетрясений и возникновением разрывных и других специфических геологических структур – «сейсмоструктур». В пределах возникающих сейсмоструктур обычны рвы, расселены, ложки (провалы), уступы перемежающиеся с холмами, гривами, пригорками. При этом могут возникнуть оползни, обвалы и др. сейсмопроявления. Разрывные структуры дешифрируются на космо- и аэрофотоснимках.

Движения геологических блоков. Наиболее надёжная информация о движениях геологических блоков в Приморье получена с помощью современных средств GPS-наблюдений. Олейников А.В. приводит следующие данные замеров 1996–2003 гг. [7]. Город Владивосток: вертикальное смещение – $2,7 \pm 0,9$ мм/год, горизонтальное – не более 4 мм/год; г. Хабаровск – 1–2 мм/год на юго-запад; п. Роцино – 3–4 мм/год по азимуту 80° ; п. Терней – 4–5 мм/год по азимуту $40\text{--}50^\circ$; п. Рудная Пристань – 2 мм/год на север; п. Кавалерово – 1,5–2 мм/год по азимуту 280° ; п. Гродеково – 1 мм/год по азимуту $10\text{--}15^\circ$; г. Находка – 1 мм/год на запад; г. Артём – 1 мм/год на юго-восток; п. Краскино – 2 мм/год на юго-запад; п. Славянка – 2 мм/год на север; п. Безверхово – 4 мм/год на юго-восток; п. Приморский – 5 мм/год на юг.

Проявления четвертичной тектоники. Разнонаправленные движения геологических блоков проявляются в образовании тектонических нарушений. Этот процесс не является быстроедействующими. Однако медленные незаметные глазу, перемещения геологических блоков по разломам земной коры представляют серьёзную угрозу для любых строительных объектов. Собственно сами зоны разломов (мощность которых может, достигает десятков километров, заполнение передробленной, достаточно непрочной массой) не являются надёжной основой для любых видов хозяйственной деятельности. Основываясь на наблюдениях А.В. Олейникова [7, 8] по выявлению современных активизированных нарушений и четвертичных палеодислокаций на основе дешифрирования аэрофото- и космоснимков с последующей заверкой полученных данных в полевых условиях и других материалах [3, 9, 10, 11] нами составлена схема районирования территории Приморья по факторам проявления четвертичной тектоники (рисунок А. 4).

По факторам проявления четвертичной тектоники территория Приморского края делится на Западную и Восточную части.

Западная часть Приморья и близлежащие районы Китая и КНДР представляют собой южную часть грандиозного Западно-Тихоокеанского (Восточно-Азиатского) рифтового пояса, протягивающегося от Магадана до Восточно-Корейской впадины. Это – гигантская область растяжения земной коры в системе сдвигов Тан-Лу и Центрального разлома [11].

Восточная часть – Сихотэ-Алинское сводово-горстовое поднятие с гранитным ядром, представленное интенсивно поднимающимися горст-антиклинальными хребтами и вулканоплутонами, сопровождающиеся отрицательными аномалиями

силы тяжести. По геодинамической обстановке – это возрожденный ороген с глыбовыми движениями [12].

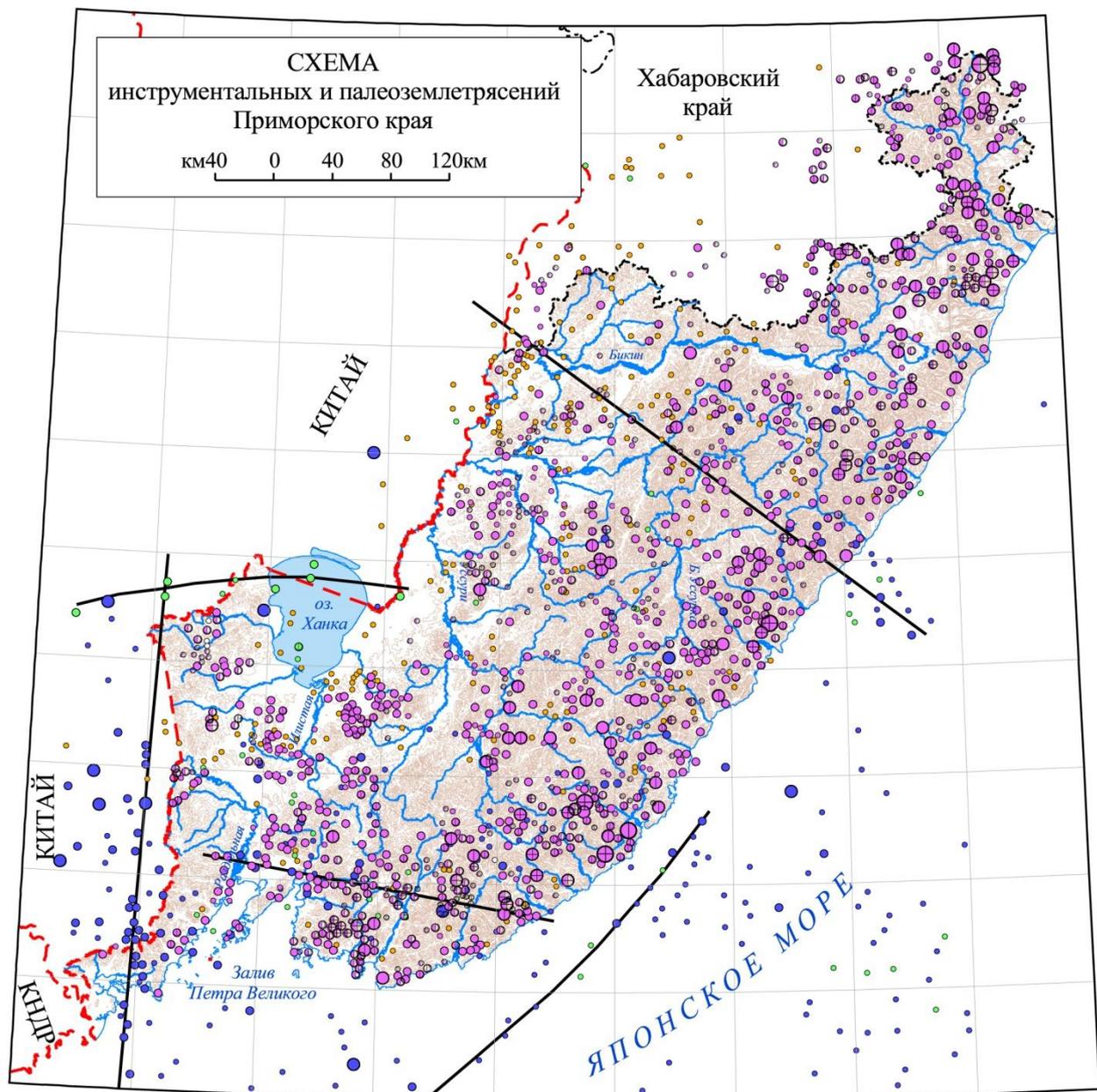
По количеству проявлений современных активизированных тектонических нарушений и палеосейсмодислокаций в Приморском крае можно выделить три зоны: Ханкайскую (Западная), Сихотэ-Алинскую (Восточная) и Центральную (переходную), для которых в четвертичное время фиксируются восходящие и нисходящие движения. В Западной (Ханкайской) зоне преобладают нисходящие движения, в центральной части которой (бассейн оз Ханка) происходящие и сегодня. В Восточной (Сихотэ-Алинской) зоне наоборот преобладают восходящие движения. Однако, параллельно нисходящим движениям в Приханкайской и восходящим движениям в Восточной (Сихотэ-Алинской) зонах существуют локальные обратные движения. В Центральной зоне нисходящие и восходящие движения локальны и значительно менее интенсивны. В целом Центральная зона это зона перехода от восходящих горообразовательных движений в пределах Сихотэ-Алиня к нисходящим движениям в Приханкайской зоне. Во всех случаях восходящие и нисходящие движения здесь сосуществуют. При преобладании первых формируются как положительные, так и отрицательные морфоструктуры, но ранги вторых всегда ниже рангов первых и наоборот [13].

Сейсмопроявления. Принадлежность территории Приморского края к Тихоокеанскому подвижному поясу, сложное гетерогенное геологическое строение, наличие крупных региональных разрывов типа сбросо-сдвигов и сопровождающих их надвигов, мозаичное купольно-блоковое тектоническое строение, разновозрастный магматизм, подножья континентального склона, прижатые к гористому берегу открытые неустойчиво равновесные флюидные системы, близость к Курильской зоне субдукции – теоретически определяют потенциально высокую сейсмическую активность региона.

И действительно, на территории Приморья и сопредельных районов юга Хабаровского края, Китая, Татарского пролива и Японского моря известно порядка 300–400 сильных, ($7 < M < 9$) и слабых ($1 < M < 5$), глубокофокусных и коровых землетрясений [1]. Параметры многих землетрясений, особенно слабых, не установлены. К настоящему времени известны сведения о примерно 316 землетрясениях, произошедших на территории Приморья и его ближайших окрестностях с 1867 по 2007 год (с перерывами).

Олейников А.В. [7] основываясь на материалах Сушкова Н.Г. [14] и др. исследователей приводит карту инструментально зафиксированных и им выявленных (методом дешифрирования аэрофотоснимков с последующей выборочной заверкой на местности) палеоземлетрясений в Приморском крае (рисунок 2.1).

Глубокофокусные зарегистрированные землетрясения имеющие гнездово-линейное пространственное распределение, преобладают в юго-западной части Приморья. В южной части края глубокофокусные и коровые землетрясения приурочены краю шельфа. Отчетливо фиксируется уменьшение глубин очагов землетрясений (с 650 до 300 км) с запада на восток, наиболее мощные из них ($M > 6,5$) расположены на западе.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

А. Инструментальные землетрясения

- | | | |
|--|---|---|
| <p>1. Магнитуды</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ микроземлетрясения ($K < 10$) и слабые ($M < 5$) ○ средней силы ($5 < M < 6,5$) ○ сильные ($6,5 < M < 8$) | <p>2. Интенсивность</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 7 баллов и меньше ○ 8 баллов ⊕ 9 баллов и больше | <p>3. Глубина очага</p> <ul style="list-style-type: none"> ● глубокофокусные (100-600 км) ● коровые (1-100 км) ● глубина не установлена |
|--|---|---|

Б. Палеоземлетрясения

- | | | |
|--|--|--|
| <p>1. Магнитуды рассчитанные</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ слабые ($4,1 < M < 5,2$) ○ средней силы ($5,2 < M < 6,3$) ○ сильные ($6,3 < M$) ○ очень сильные ($6,9 < M$) | <p>2. Интенсивность рассчитанная</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 7 баллов и меньше ○ 8 баллов ⊕ 9 баллов и больше | <p>3. Глубина очагов рассчитанные</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ < 10 км (I тип) ○ 10-20 км (II тип) ○ < 20 км (III тип) |
|--|--|--|

— Сейсмогенерирующие линеаленты

Рисунок 2.1 – Схема размещения инструментально зарегистрированных землетрясений и палеоземлетрясений

Скопление глубокофокусных землетрясений (узел) с глубинами до 350 км и $M < 5$ отмечено на шельфе восточнее п. Терней.

Коровые зарегистрированные землетрясения единичны и разбросаны по территории рая, кроме землетрясений 1962–1967 гг. в северной части оз. Ханка, которые образуют линейный ряд субширотного простирания. Большинство коровых землетрясений сосредоточено в западной части края, преимущественно по бортам остаточных горстов в пределах кайнозойских впадин, или на их перемычках. Слабые землетрясения, в основном, распространены в Западном Приморье, они образуют линейные группы и гнездовые скопления. Редкие землетрясения в восточной части приурочены большей частью к сниженным частям блоков-горстов. При детальной привязке очагов землетрясений устанавливается их приуроченность к разломам разного ранга. Разломы корового и сквозькорового заложения, являются основными сейсмогенерирующими структурами, с которыми связаны очаги наиболее сильных разрушительных землетрясений.

Изложенные данные о проявлении сейсмичности Приморья и на прилегающих территориях свидетельствуют о современной сейсмической активности умеренной интенсивности, не выше 7–8 баллов, за весь период инструментальных наблюдений. Однако привлечение палеосейсмологических данных существенно меняет представление о сейсмической опасности для Приморья [7].

На территории Приморья выявлены участки (в бассейнах рек Уссури, Павловки, Журавлевки, Комиссаровки, Молоканки, Нестеровки, Кривой, низовьях рр. Маргаритовки и Милоградовки, междуречья Соболевки, Зевы, Светловодной, Единки с р. Самаргой, на Борисовском плато, полуострове Ливадия, хребтах Пидан и Паризанском и др.), где в прошлом происходили довольно сильные землетрясения, оставившие на поверхности различного рода следы – сейсмодислокации.

В тоже время есть значительные по площади (60×80 км) участки, где землетрясения (как инструментально зафиксированные, так и палеоземлетрясения) не установлены. Выявленные палеоземлетрясения обнаруживают тесную связь с положительными морфоструктурами, зачастую с их центральными частями или же на их сниженных обрамлениях. Вместе с тем, отмечены случаи развития дислокаций на остаточных горстах среди вулканических полей или по их обрамлению. Выявленные палеосейсмоструктуры, как правило, 8–9-балльные. Семибалльные развиты на нейтральных блоках или вблизи депрессий – долин-грабенов. Очевидно, существовала эпоха сильных землетрясений связанных с образованием Сихотэ-Алиня, скорее всего, в верхнем плейстоцене – начале голоцена.

Таким образом, имеющиеся сведения о геологическом строении, проявлениях эндогенных процессов и вулканизма в Приморье и прилегающих территориях Китая и КНДР, а также на акватории Японского моря, свидетельствуют о напряженной тектонической обстановке в кайнозое и четвертичном периоде.

Проявления вулканизма. Следы проявления вулканической активности на территории Приморья прослеживаются среди докембрийских, палеозойских, мезозойских и кайнозойских геологических образований [15]. Главным событием меловой геологической истории Приморья стало формирование Сихотэ-

Алинского вулканического пояса в позднем мелу. Грандиознейшие по своим масштабам извержения вулканов этого периода сформировали Сихотэ-Алинский вулканический пояс, протягивающийся в Приморском крае более чем на 1450 км (в Приморье на 700 км) вдоль побережья Японского моря при ширине от 100 до 300 км и мощности вулканических пород, накопившихся в процессе извержений, достигающей 4–5 км. Вулканический пояс представляет собой западный фланг прогиба, заложенного на разнородном домеловом фундаменте в зоне прибрежных глубинных разломов.

Конечный этапы формирования пояса (*палеоген-неоген*) по времени совпадают с активизацией глубинных тектонических процессов на границе Азиатского континента и Тихоокеанской плиты. При значительных перемещениях блоков земной коры по северо-восточным зонам разломов в раннем палеогене возникли магмопроницаемые *субширотные структуры проседания* (Бикинская и Южно-Приморская), которые быстро заполнялись своеобразной вулканогенной молассой, – базальтовыми, андезитовыми и риолитовыми лавами, пирокластическими покровами, а в периоды затухания вулканизма вулканогенно-осадочными и терригенными, часто угленосными, отложениями. Эти структуры развивались как в пределах вулканического пояса (депрессии бассейнов рек Бикин, Максимовка, Зеркальная, Аввакумовка, верховья р. Уссури и др.), так и за его пределами (Славянская и Краскинская вулкано-тектонические депрессии среди палеозойских образований на юге Приморья).

Неогеновый этап вулканизма (конец миоцена – начало плиоцена) на территории Приморья выразился выбросами колоссальных объемов вулканического пепла, трещинными излияниями базальтовых лав, заполнивших межгорные впадины и образовавших обширные базальтовые плато и столовые горы. Излияния базальтов завершились формированием, на флангах возникших плато в зонах субширотных тектонических структур, небольших вулканических построек и шлаковых конусов. Базальтовые плато плиоценового возраста занимают значительные площади в южной части края, где расположены Шуфанское и Шкотовское плато, и в его северо-восточной части. В центральных частях плато располагаются куполовидные возвышенности, являвшиеся центрами излияния лав. В пределах Шуфанского плато к ним относятся горы Полковница (732 м), Пологая (741 м). На Шкотовском плато подобными куполовидными вулканами являются горы Обрубленная (902 м), Дальняя Серповка (905 м) и Бурхан (804 м). По периферии Западно-Приморской равнины расположены многочисленные остатки небольших куполовидных вулканов. Некоторые вулканические постройки в виде небольших вулканических конусов, столовых возвышенностей и куполовидных структур сохранились до настоящего времени. Примерами могут служить гора севернее с. Борисовка, столовая возвышенность восточнее пос. Раздольного, горы Корейская сопка близ ст. Свиягино, Медвежья севернее пос. Кировского и др. Небольшие плато и куполовидные вулканы развиты вдоль морского побережья, в краевых частях Западно-Приморской равнины и в ряде других мест.

На сегодняшний день на территории Приморья нет активных проявлений вулканизма и современных вулканов. Ближайший – вулкан Пэктусан (или Бай-

тоушань – в переводе с китайского "Белая Гора"), расположен южнее, на границе Кореи и Китая. Его извержения происходили в исторический период. Последнее случилось в 1898 г. Но особенно сильным было извержение 1702 года, когда выбросы вулканического материала распространились на территории более 10 тыс. кв. км. Он активен еще и сегодня. В пределах кальдеры вулкана в озере Таньчи происходит выделение горячих вод и газов – индикаторов "живой" магмы, питающей вулкан.

Однако, вполне вероятно, что тектонические процессы, происходящие сегодня на границе Азиатской континентальной и Тихоокеанской океанической литосферных плит, могут в любое время вызвать проявление мощных землетрясений и рождение новых вулканов и в Приморье.

2.1 Проявления экзогенных процессов

Выведенные на поверхность либо на дно морского бассейна горные породы попадают под воздействие экзогенных (внешних) процессов. Процессы преобразования горных пород в приповерхностной (либо придонной в морях) части литосферы под воздействием внешних по отношению к Земле сил (экзогенных процессов) обусловлены, главным образом, энергией солнца, силой тяжести и проявлением жизни. Процессы преобразования горных пород в приповерхностной (либо придонной в морях) части литосферы под воздействием внешних по отношению к Земле сил (экзогенных процессов) получили название гипергенез, а часть литосферы в которой происходят изменения – зона гипергенеза [16]. В зависимости от мест проявления, процессы гипергенеза делят на три группы: поверхностный; подземный; подводный.

- поверхностный (или наземный) гипергенез – комплекс явлений и процессов, происходящих непосредственно на поверхности суши и (или) связанных с проникающими в толщи пород инфильтрационными водами;

- подземный (или глубинный) гипергенез – комплекс явлений и процессов, происходящих ниже земной поверхности и связанных с воздействием подземных вод, движущихся по водоносным горизонтам или восходящих по проницаемым зонам (эти воды также имеют поверхностное происхождение);

- подводный гипергенез (или гальмиролиз) – комплекс явлений и процессов, происходящих с горными породами на дне морей и океанов.

К процессам поверхностного гипергенеза (экзогенным процессам) относятся: выветривание, денудация, аккумуляция, абразия, криогенез, солифлюкция, заболачивание, оползневые процессы, карст.

Продуктами гипергенеза являются обломки первичных пород (свежих и выветрелых), растворы и новообразованные твердые вторичные продукты. Рельеф, почва, коры выветривания, осыпи (курумы), карст и другие формы – все это следствие процессов гипергенеза. Проявление различных форм экзогенных процессов и формирование продуктов поверхностного гипергенеза, в первую очередь, связано с процессами выветривания.

Выветривание. В Приморском крае это один из наиболее длительно существующих и распространенных геологических процессов, в результате которого формировались в прошлом и формируются сейчас коры выветривания и

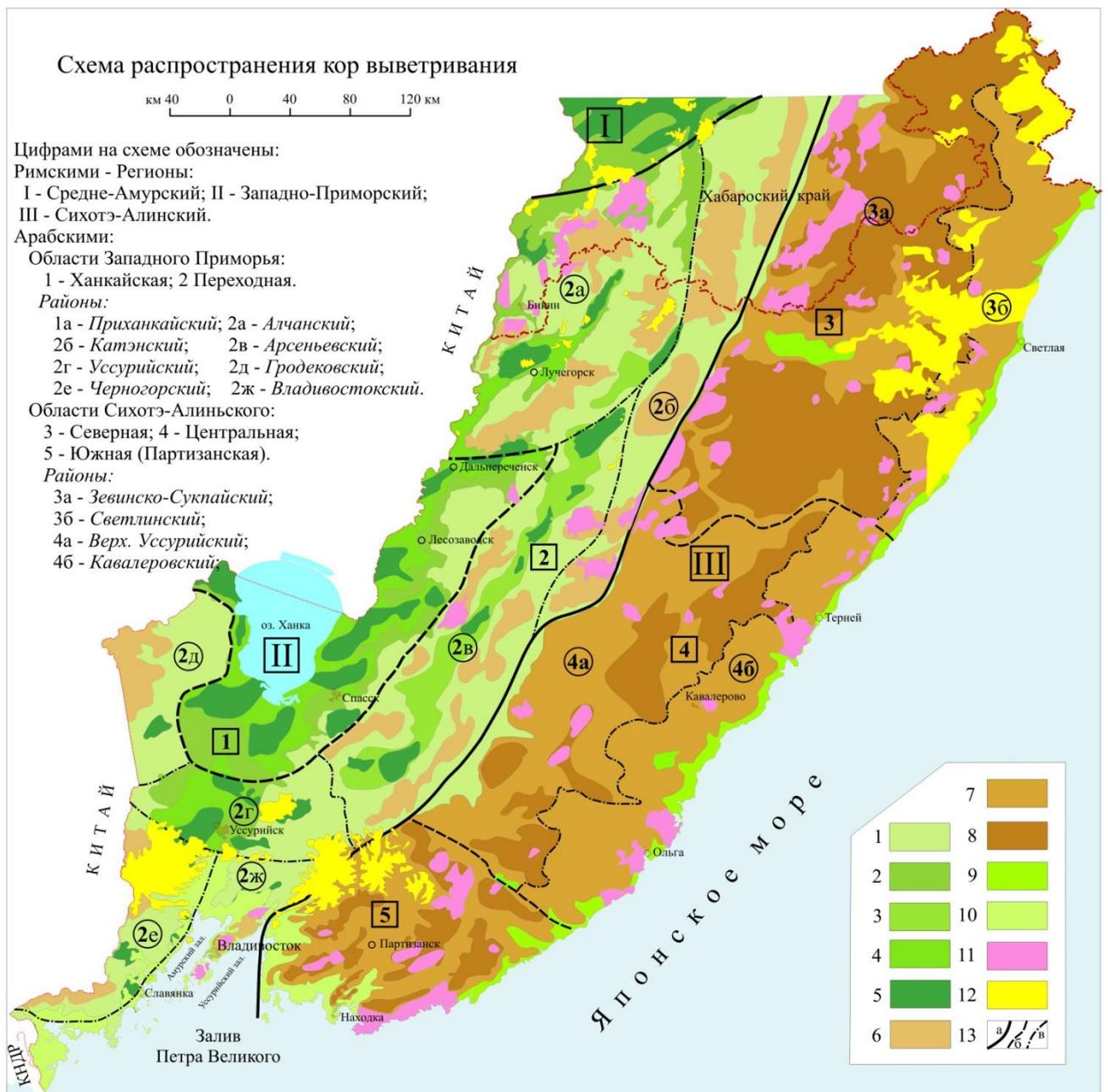
почвы, а во взаимодействии с процессами денудации – аккумулятивные образования и различные формы рельефа. В Приморье выявлены проявления процессов выветривания, свойственные эпохам и зонам сурового и жаркого климата, избыточного и недостаточного увлажнения, горным и равнинным, континентальным и прибрежно-морским. Этому способствуют уникальность расположения и геологического строения края, многообразие климатических и физико-географических условий, типов рельефа, проявившихся за время воздействия экзогенных процессов на верхнюю часть литосферы территории края.

Коры выветривания. По данным Куц [19] основанным на материалах Тащилкина (1968 г), Мостового (1978) и полевых наблюдениях полученных в процессе выполнения работ, в Приморье по условиям распространения кор выветривания выделяются два региона: Ханкайский и Сихотэ-Алинский. Наиболее благоприятные условия для сохранения продуктов выветривания существуют в пределах Ханкайского региона где, за длительную историю воздействия процессов выветривания на литосферу сформировались, древние (докайнозойские), погребенные и выходящие на поверхность площадные и линейные коры выветривания. В Сихотэ-Алинском регионе распространены более поздние (кайнозойские и четвертичные), главным образом, линейные коры выветривания (рисунок 2.2).

В кайнозое коры выветривания формировались в основном в олигоцене, раннем и среднем миоцене. В это время преобладал теплый и влажный климат, существовали широкие долины и обширные выровненные пространства. Второй отрезок времени, благоприятный для образования кор выветривания, приходится на раннечетвертичную и частично среднечетвертичную эпохи.

Западно-Приморский регион. Здесь под апт-альбскими и эоцен-олигоценовыми континентальными отложениями, на породах палеозойского и докембрийского возраста распространена погребенная, нижнемезозойская площадная кора выветривания, мощностью до 100 м. На породах мелового возраста под континентальными отложениями эоцен-олигоценового возраста (холмистовалистый рельеф с вершинным уровнем 200–250 м); распространена площадная и линейная коры выветривания, мощность до 80 м. Для региона характерно наличие батолитообразных гранитных массивов, на которых образовались коры выветривания (сапролит – породы выветрелые до дресвяно-суглинистого состояния) мощностью до 70 м. Такие мощные коры выветривания отмечаются на породах гранитоидной и метаморфической формаций протерозойско-палеозойского возраста. Несколько меньшая по мощности кора выветривания (до 40 м) отмечается на породах эффузивной и эффузивно-осадочной формации палеозоя. Слабосцементированные тонкообломочные палеоген-неогеновые отложения выветриваются до глин, а грубообломочные – до гравийников и песков. Мощность коры выветривания этих образований не превышает 5–10 м [20].

Сихотэ-Алинский регион характеризуется полным отсутствием древних площадных кор выветривания. Здесь отмечаются, главным образом, интенсивно размываемые линейные коры выветривания миоценового возраста и зоны окисления сульфидных месторождений, перекрытые с поверхности четвертичными солифлюкционными и коллювиально-солифлюкционными отложениями.



Цифрами на схеме обозначены:
 Римскими – регионы: I – Средне-Амурский; II – Западно-Приморский, III – Сихотэ-Алинский.
 Арабскими – области: Западно-Приморская; Сихотэ-Алинская. В Западно-Приморской области выделяются две подобласти: 1 – Приханкайская; 2 – Переходная; Районы в пределах Переходной подобласти: 2а – Алчаеский; 2б – Матайский; 2в – Арсеньевский; 2г – Уссурийский; 2д – Гродековский; 2е – Черногорский; 2ж – Владивостокский.
 В Сихитэ-Алинском регионе выделяются области:
 3 – Верхне-Бикинская; 4 – Восточно-Сихотэ-Алинская;
 5 – Чугуевская; 6 – Партизанская.

Рисунок 2.2 – Схема распространения кор выветривания в Приморском крае [20].

Условные обозначения к рисунку 2.2

1. Область слабо деформированной местами размытой нижнемезозойской поверхности выравнивания на палеозойских и докембрийских породах (мелкосопочный рельеф высотой 200–400 м). Широко распространена мощная пло-

щадная и линейная кора выветривания, выходящая на поверхность или перекрытая четвертичными отложениями; мощность до 50–60 м; (низкогорья)

2. Аккумулятивные участки миоценового возраста на палеозойских и докембрийских породах, погребенные под апт-альбскими и эоцен-олигоценовыми континентальными отложениями, с мощной нижнемезозойской корой выветривания мощность до 100 м; (Ханкайская равнина)

3. Аккумулятивные участки миоценового возраста на породах мелового и эоцен-олигоценового возраста (холмисто-увалистый рельеф с вершинным уровнем 200–250 м; распространена мощная площадная и линейная кора выветривания, мощность до 80 м; (Арсеньевские равнины)

4. Область нижнемезозойской поверхности выравнивания на породах палеозойского и докембрийского возраста, погребенная под апт-альбскими и миоцен-олигоценовыми континентальными отложениями, с мощной нижнемезозойской корой выветривания мощность до 80 м;

5. Кайнозойские угленосные впадины на породах палеозойского и докембрийского возраста, выполненные апт-альбскими и миоцен-олигоценовыми континентальными отложениями, с мощной нижнемезозойской корой выветривания мощность до 100 м; (кайнозойские впадины)

6. Область приподнятой и сильно размытой нижнемезозойской поверхности выравнивания на палеозойских породах (низкогорный рельеф с вершинным уровнем 500–600 м); распространена линейная и на отдельных участках площадная нижнемезозойская кора выветривания мощностью до 17–20 м. (гривы)

7. Область позднемеловых поднятий на верхнемезозойских породах (среднегорный расчлененный рельеф с высотой вершинного уровня 500–1200 м); распространены линейная и спорадически площадная кора выветривания мощностью до 10–12 м.

8. Область интенсивных четвертичных поднятий на верхнемезозойских и палеогеновых породах (современный среднегорный, сильно расчлененный рельеф с абс. отм. вершинного уровня 800–2000 м); распространены только линейная кора выветривания мощностью до 10 м и зоны окисления сульфидных месторождений глубиной до 40–50 м, изредка до 110 м.

9. Прибрежная полоса в восточном Приморье; распространена четвертичная линейная и площадная кора выветривания мощностью до 15 метров.

10. Прибрежная полоса в южном Приморье; распространена четвертичная площадная и линейная кора выветривания мощностью до 28 метров.

11. четвертичная площадная и линейная коры выветривания мощностью 10–15 до 40 м на гранитоидах (сапролит и ядра, на склонах смещенные).

12. Базальтовые плато с четвертичной площадной корой выветривания мощностью до 7–10 м.

13 Границы геоморфологических областей: а – между регионами; б – между подобластями в Ханкайском регионе и областями в регионах, в – между районами в пределах областей.

Несколько особняком стоят территории перекрытые базальтами – *вулканоогенные плато*. На выровненных поверхностях базальтовых плато плиоцено-

вого и палеоценового возраста развита площадная четвертичная кора выветривания мощностью до 7–10 м.

Появление криогенных процессов. В Приморском крае распространена, в основном сезонная мерзлота, хотя известны районы с островной многолетней мерзлотой.

К мерзлотным явлениям относятся: сезонное промерзание и пучение грунтов, формирование морозобойных трещин, наледей, солифлюкция.

Сезонная мерзлота. Промерзание грунтов начинается в конце октября и достигает наибольших глубин к марту. Глубина сезонного промерзания на участках не покрытых снегом с сухими песчано-галечными отложениями достигает 3 м, в сухих щебенистых грунтах – 2,5 м, в супесях и суглинках – 1,8–2,0 м, а в торфяных массивах – не более 1 м, Оттаивание грунтов начинается в конце марта и продолжается до конца августа. Среднегодовая температура грунтов в сезонномерзлом слое положительная.

Островная многолетняя мерзлота приурочена к привершинным частям северных склонов гор в верхних течениях рек Бикин, Арму, Колумбе, Большая Уссурка, Уссури, Киевка, Партизанская. Мощность мерзлых пород до 5 м. Мерзлота расположена под слоем глинистых пород и торфяников. Косвенными факторами, указывающими на наличие многолетнемерзлых пород являются длительное существование наледей, термокарстовые формы рельефа, криосолифлюкция.

Образование морозобойных трещин. Малая мощность снежного покрова, особенно в пределах Ханкайского района, способствует развитию морозобойного трещинообразования. Неравномерное уменьшение объема грунтов вследствие их охлаждения вызывает образование морозобойных трещин полигональной формы. Размеры форм – от нескольких сантиметров до первых метров. Ширина трещин достигает 10 см, глубина – 2х метров.

Наледеи. В Приморском крае на территориях, расположенных южнее границы вечной мерзлоты, повсеместно встречаются наледеи всех генетических типов.

Наледеи, сильно влияющие на состояние долинных ландшафтов, имеют на территории Приморья достаточно широкое распространение, а их мощность зависит от зимних температур и количества осадков. В зависимости от положения в рельефе различаются склоновые и тальвеговые (долинные) наледеи, а среди последних – речные, ручьевые, ложковые (ключевые). Склоновые наледеи подразделяются на поверхностные (грунтовые) и внутригрунтовые [3].

Влияние наледеобразования и наледей на ландшафты и их компоненты проявляется многопланово: на рельеф – активизация склоновых процессов в весенне-летнее время. Возрастает физическое выветривание грунтов в «приналедных» полосах, возникают солифлюкционные смещения грунтов на нижеприлежащих линейных полосах, на участках наледных полей появляются новообразования в форме травяных кочек и туфуров; на водотоки – регулирование стока весной и в начале лета; на растительность – изреживание и локальная замена лесных сообществ редколесьем и травяно-болотными фитоценозами в подгольцовой зоне, широколиственных сообществ мелколиственными в речных долинах и т.д.; в целом на структуру ландшафта – образование наледных полей.

Изменение природных геосистем наледными процессами происходит значительно быстрее под воздействием человеческой деятельности (прокладка дорог, вырубка леса на больших площадях, строительство мостов через ручьи и реки, регулировка стока рек, создание промышленных предприятий и поселков). Антропогенный пресс на ландшафты в районах нового освоения часто приводит к существенным геосистемным трансформациям (вплоть до полной смены природного облика).

На прибрежные геосистемы влияния наледообразования проявляется, главным образом, в интенсификации абразионно-аккумулятивных процессов во время формирования наледей зимой и последующего их летнего разрушения.

Решающим условием образования мощных наледей являются обильные осадки в конце лета и осенью, а также ранний, достаточно мощный снежный покров, препятствующий быстрому, глубокому промерзанию грунтов. Последующее снижение температур в январе (до -23°C) приводит к формированию мощного сезонно-мерзлого слоя с выдавливанием грунтовых вод и ускоренным ростом наледи во второй половине зимы.

Учёт физико-географических условий, влияние климата на параметры и распространение наледей в различных районах края, позволяют разделить всю территорию Приморского края на четыре основных района с различным характером наледообразования [3]. Западно-Приморский, Центральный горный район, Восточно-Приморский район, Южно-Приморский район.

Западно-Приморский район занимает бассейн оз. Ханка и долину р. Уссури. Рельеф района представлен Уссурийско-Ханкайской низменностью. На восточной и юго-западной границах района низменный рельеф переходит в горный. Речные наледи здесь образуются ежегодно в верховьях рек на участках с площадью водосбора около 70 км^2 и менее. Отдельные реки в некоторых местах полностью перемерзают, и весь их зимний расход идет на образование наледей. Ручьевые наледи в описываемом районе встречаются значительно чаще и имеют большую мощность, чем речные. Грунтовые наледи в районе встречаются очень редко.

Центральный горный район занимает около половины всей территории западных склонов Сихотэ-Алиня. Вся территория района занята бассейном р. Уссури. Наибольшее распространение в данном районе имеют ключевые наледи, которые встречаются на всей территории района. Толщина льда на отдельных ключах, достигает 2,5–3,0 м. В июне 1978 г. на левобережье р. Большой Килоу в распадке, рассекавшем базальтовое плато, наблюдалась наледь мощностью до 7,0 м. В ее многослойном разрезе зафиксированы слои замерзшей грунтовой воды, выпавшего снега и грунта. Грунтовые наледи здесь встречаются повсеместно. Образуются они обычно на склонах и у подножья гор в местах выклинивания водоносных слоев. Наледи возникающие от таяния снега в зимний период в Центральном районе встречаются очень редко.

Восточно-Приморский район вытянут полосой шириной 40–50 км вдоль побережья Японского моря. Вся территория данного района, за исключением побережья, занята крутыми склонами хр. Сихотэ-Алинь. Наледи от таяния снега в зимний период, в отличие от предыдущих двух районов, здесь имеют

большое распространение, особенно в южной и прибрежной частях. Образуются они в затененных местах южных склонов гор и у различных инженерных сооружений. Мощность их невелика, но они оказывают большое разрушительное действие на строения и конструкции.

Южно-Приморский район с северной стороны ограничен водоразделом рек, текущих в южном направлении. Береговая линия района сильно изрезана заливами и бухтами. Наледи здесь образуются обычно в среднем и верхнем течении рек и ручьёв, высота их не превышает уровня паводковых вод, вероятность появления – один раз в два-три года. Склоновые и ключевые наледи имеют большее распространение, чем на реках. Встречаются они как в прибрежной, так и в горной частях края. Мощность наледей доходит до 2,0–2,5 м. Грунтовые наледи имеют небольшое распространение, маломощные наледи от таяния снега в зимний период встречаются чаще по сравнению с другими районами.

С мерзлотными явлениями связаны солифлюкция и морозное пучение.

Солифлюкция. Основными условиями для проявления солифлюкции и образования солифлюкционных форм являются: пологие формы рельефа (до 15°), мощные толщи глинистых пород, их сильное сезонное промерзание и обильное увлажнение в летне-осенний период. Солифлюкцию можно разделить на криосолифлюкцию и муссонную.

Криосолифлюкция развита в гольцовом поясе Сихотэ-Алиня и на его восточном макросклоне, где она приурочена к мощным корам выветривания на породах эффузивной (базальтоидной) и интрузивной (гранитоидной) формаций мела-неогена. Склоны, подверженные воздействию солифлюкции пологовогнутые и пологоступенчатые, поверхности их осложнены террасами. Проявления процесса хорошо фиксируется на плато базальтов в бассейнах рек Зева, Килоу, Пея, Кабанья. Здесь наблюдается сплошное плащеобразное смещение грунтов, образующее вытянутые до нескольких километров поперек склона ступени. Вокруг возвышенности наблюдаются концентрически расходящиеся террасы.

Муссонная солифлюкция имеет довольно широкое распространение, но хорошо фиксируется только на плато базальтов. Наиболее быстрое смещение солифлюкционного покрова отмечается в период разрушения сезонной мерзлоты и летних муссонных дождей, когда отложения на пологих склонах приобретают консистенцию, близкую к вязкотекучей. Максимальная активность солифлюкции отмечается в верховьях низкопорядковых эрозионных форм, мало затронутых глубинной эрозией,

Солифлюкционные формы (террасы) располагаются на пологих склонах гор в их средней и приводораздельной частях. Почти все формы проявления солифлюкции имеют небольшие размеры с характерными элементами микро-рельефа: крутой ($30\text{--}40^\circ$) уступ выпуклой формы; у подножья уступа – заболоченное понижение. Внешняя часть ниши обрамляется валом из суглинка с редким щебнем базальтов. На склонах с уклоном $5\text{--}7^\circ$ наблюдается несколько ниш. Протяженность ниши до 100 м, высота уступа 3–5 м. Террасы образуют округлые ступени до 200 м в диаметре, покрытые травянистой растительностью [2]. Мощность отложений в основном до 2,5 м.

Пучение грунтов. Морозное пучение грунтов относится к физико-механическим процессам, в результате которых промерзающий грунт приобретает напряженно-деформированное состояние под действием термодинамических изменений. Явление основано на том, что присутствующая в грунте влага при замерзании увеличивается в объеме, в результате чего происходит поднятие грунта. В результате замерзания воды образуются бугры пучения. При таянии льдистых мерзлых пород под действием собственного веса или внешней нагрузки они проседают. На величину морозного пучения влияют глубина залегания подземных вод, глубина и скорость промерзания грунтов. Интенсивность пучения грунтов зависит от суточного и сезонного колебания отрицательных температур. В сезонном цикле морозного пучения наблюдаются два неравных по продолжительности и интенсивности периода: осенне-зимний и весенний. Максимальные величины пучения в суглинистых грунтах достигают на участках с уничтоженной лесной растительностью. Величина пучения для участков, покрытых лесом меньше.

Разделение грунтов на пучинистые и непучинистые является чисто условным. Обычно к пучинистым грунтам относят глины, песчаные пылеватые или крупномоноблочные, в которых глиняный наполнитель превышает 15 %. Но даже чистый песок, который считается непучинистым грунтом, при определенных условиях может вспучиваться под влиянием отрицательных температур.

Наибольшую озабоченность вызывает пучение полотна автодорог. Местами на дороге серия бугров пучения может протягиваться на 100 и более метров. Высота бугров пучения составляет 0,4–0,6 м. Как правило, пучение на дорогах связано с нарушением естественных мерзлотно-грунтовых условий и режима подземных вод в результате закладки дороги. Чаще всего пучение проявляется в начале или конце пологого спуска южной экспозиции.

В пределах Ханкайского региона, пучение грунтов приурочено к глинистым, суглинистым, супесчаным рыхлым накоплениям склонов, озерным и аллювиальным отложениям. В Предгорном регионе пучение грунта приурочено к глинистым, суглинистым грунтам четвертичных аллювиальных, полигенетических отложений палеоген-неогена и мощным корам выветривания на палеозойских гранитоидах и эффузивах кислого и среднего состава. Довольно интенсивно проявлено пучение грунтов на участках дорог Яковлевка - Спасск, Анучино - Арсеньев. Здесь пучению подвержены от 20 до 30 % полотна автодороги. Бугры пучения до 0,3–0,5 м расположены по всей проезжей части дороги. В пределах Южно-Приморского региона основными факторами пучения являются открытость склонов, высокая естественная влажность перед промерзанием, техногенные нарушения режима подземных вод.

Денудация. Продукты выветривания перемещаются процессами денудации. Главной движущей силой в процессах денудации является сила тяжести, проявляющаяся либо непосредственно, либо через движение различных подвижных сред. Различается денудация в узком понимании как снос, удаление выветрелого материала посредством плоскостного смыва и гравитационных движений (перемещений) и в широком смысле как совокупность процессов, посредством которых

осуществляется удаление продуктов выветривания (комплексная денудация) с последующей их аккумуляцией на поверхностях, угол наклона которых меньше предельного угла естественного откоса перемещения подвижных сред.

Денудация может быть площадной, при которой снос не сосредоточен на локальных участках (плоскостной смыв, гравитационные перемещения, работа материковых ледников, ветра) и линейной, (локальная работа проточной воды, долинных ледников и пр.) сопровождающиеся отложением снесенного материала в областях аккумуляции. Как линейная, так и плоскостная денудация осуществляется агентами денудации. Агенты наземной денудации: гравитационные движения (перемещения), работа проточных вод (эрозия), подземных и поверхностных вод (карст, суффозия), снега и льда (нивация, экзарация), ветра (дефляция), прибоя (абразия), растительных организмов, животных и человека [17].

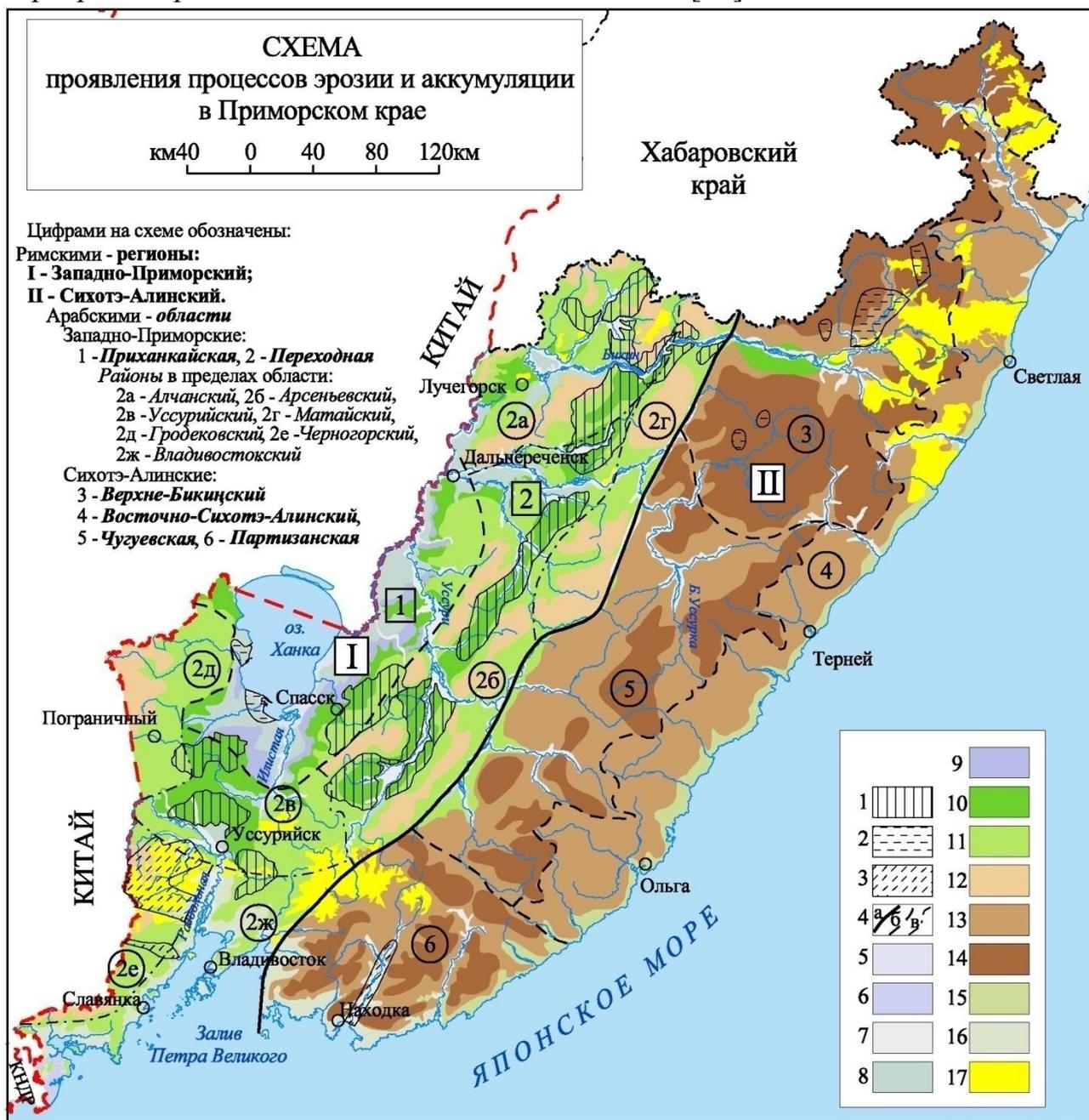
Интенсивность денудации определяется интенсивностью и направленностью новейших тектонических движений, климатом, устойчивостью к выветриванию горных пород (избирательная, или селективная), и деятельностью человека. Среди процессов денудации по объему перемещаемых образований и общему морфологическому эффекту, прежде всего, выделяются процессы под воздействием текучих вод – эрозия (плоскостной смыв и склоновая аккумуляция, линейная эрозия и аккумуляция, суффозия, карст и др.).

Эрозия. Под эрозией понимают процесс гравитационного перемещения продуктов выветривания природными агентами (водой, ветром, ледниками) с образованием различных форм ландшафта (балки, овраги, распадки, долины, скальные останцы, островные горы, увалы, скульптурные равнины). Различают водную и ветровую (эоловую) эрозию [18]. Ветровая эрозия и аккумуляция преобладает в условиях аридного климата, водная – в условиях гумидного климата. По скорости развития эрозию делят на нормальную и ускоренную. Нормальная эрозия протекает медленнее почвообразования и не приводит к заметным изменениям уровня и формы земной поверхности. Ускоренная идет быстрее почвообразования, приводит к деградации почв и сопровождается заметным изменением рельефа. По причинам возникновения выделяют естественную и антропогенную эрозию. Существуют различные виды водной эрозии: плоскостная (поверхностная), линейная (речная, овражная, образование промоин), боковая (подмыв берегов рек), глубинная (врезание русла потока в глубину), а так же абразия.

В Приморском крае в связи с гумидностью современного климата преобладает водные виды эрозии – плоскостная и линейная, кроме того отчётливо проявлены различные виды водной эрозии возникающие в результате антропогенного воздействия на существующие равновесные природные ландшафты (рисунок 2.3).

Наиболее интенсивные проявления процессов естественной эрозии были в конце миоцена, в начале плиоцена, а так же в начале среднечетвертичного и в позднечетвертичное время. Интенсивная эрозия в позднем миоцене и особенно в плиоцене привела к почти повсеместному уничтожению кор выветривания в горных районах и на значительной части Западно-Приморской равнины. Они сохранились в пределах останцов, на участках, бронированных базальтами или

перекрытых рыхлыми неогеновыми отложениями [15].



Условные обозначения:

- 1 – 3 – Области распространения преобладающего вида эрозионных процессов выражающихся в масштабе схемы: 1 – Плоскостная эрозия; 2 – Речная эрозия; 3 – Овражная эрозия; 4 – Границы между: регионами (а); областями (б); районами (в); 5 – 17 – Области распространения преобладающего вида четвертичных аккумулятивных образований.

Рисунок 2.3 – Схема проявления процессов эрозии и аккумуляции [20]

Условные обозначения к рисунку 2.3

Проявления эрозионных процессов и аккумулятивные образования:

- 5 – современные озёрные отложения оз. Ханка (низкая пойма);
 6 – современные морские отложения в бухте Экспедиции;
 7 – аллювиальные речные отложения (Q_{IV}). Низкая и высокая пойма;

8 – аллювиальные речные отложения (Q_{III}). Первая и вторая надпойменные террасы;

9 – полигенетические образования «бурые суглинки», лесоиды;

10 – четвертичные отложения в областях современных понижений мощностью до 80–100 м. в Западном Приморье, перекрытые более поздними образованиями. Результаты эрозионных процессов (балки, овраги промоины, речные долины) выполнены более поздними образованиями и нивелированы;

11 – склоновые отложения мощностью до 28 м в пределах современного низкогорного рельефа в Западном Приморье. Распространены плоскостная, боковая и глубинная речная эрозия, с образованием промоин, оврагов, балок, скульптурных равнин, увалов, островных гор, речных террас, конусов выноса;

12 – склоновые отложения в пределах современного среднегорного рельефа в Западном Приморье. Распространены процессы глубинной речной эрозии;

13 – делювиальные отложения. Современный среднегорный сниженный рельеф в Сихотэ-Алине. Широко распространены процессы речной эрозии, в восточном Сихотэ-Алине – процессы глубинной эрозии;

14 – делювиальные отложения. Современный среднегорный массивный рельеф в Сихотэ-Алине. Широко распространены процессы речной эрозии;

15 – прибрежная полоса в восточном Приморье, здесь распространены: в верховьях – речная, донная эрозия, в прибрежной зоне – процессы аккумуляции (аллювиальные [русловые и пойменные фации мощностью до 18 м], алювиально-морские [пойменные фации до 30 м] и морские [песчаные и галечные пляжи мощностью до 10 м] отложения, на побережье – абразия;

16 – прибрежная полоса в южном Приморье, здесь распространены: в верховьях – речная, донная эрозия, в прибрежной зоне – процессы аккумуляции (аллювиальные [русловые и пойменные фации мощностью до 28 м], алювиально-морские [пойменные фации до 40 м] и морские [песчаные и галечные пляжи мощностью до 7 м] отложения), на побережье – абразия;

17 – базальтовые плато, здесь распространены: в пределах плато – овражная и речная (глубинная и боковая) эрозия; площадная кора выветривания мощностью до 20 м; на краях плато – обвалы, осыпи, оползни.

Плоскостная (поверхностная) эрозия в крае распространена повсеместно. Проявления плоскостной эрозии выражаются в образовании равнин, увалов, островных гор, скальных останцов. Мощные накопления делювия у подножья склонов, характерные для проявления плоскостной эрозии, часто наблюдаются в горных и предгорных районах южного и центрального Сихотэ-Алиня, на водоразделах и гривах часто присутствуют скальные останцы.

Линейная эрозия в Приморье проявлена интенсивно и повсеместно. В регионах получили развитие как боковая, так и глубинная (донная) русловая эрозия, а так же овражная эрозия и образование промоин после прохождения ливневых дождей. Интенсивные проявления русловой эрозии отмечены на западных и восточных склонах и в предгорьях Сихотэ-Алиня. Особо следует отметить интенсивность русловой боковой деформации берегов на реке Партизанской, где средняя скорость размыва берегов достигает 3–5 м/год. На восточном

макросклоне Сихотэ-Алиня, где реки относительно прямые, со значительным уклоном, с невыработанным продольным профилем, доминирует глубинная эрозия, обусловленная вовлечённостью макросклона в интенсивные неотектонические поднятия. Антропогенная эрозия. Значительные изменения ландшафтов наблюдаются при поведении хозяйственной деятельности, вырубке лесов, отработки месторождений полезных ископаемых, прокладке новых автомобильных дорог, линий электропередач, водо-, нефте- и газопроводов при строительстве новых и расширении существующих поселений и создании а затем ликвидации свалок.

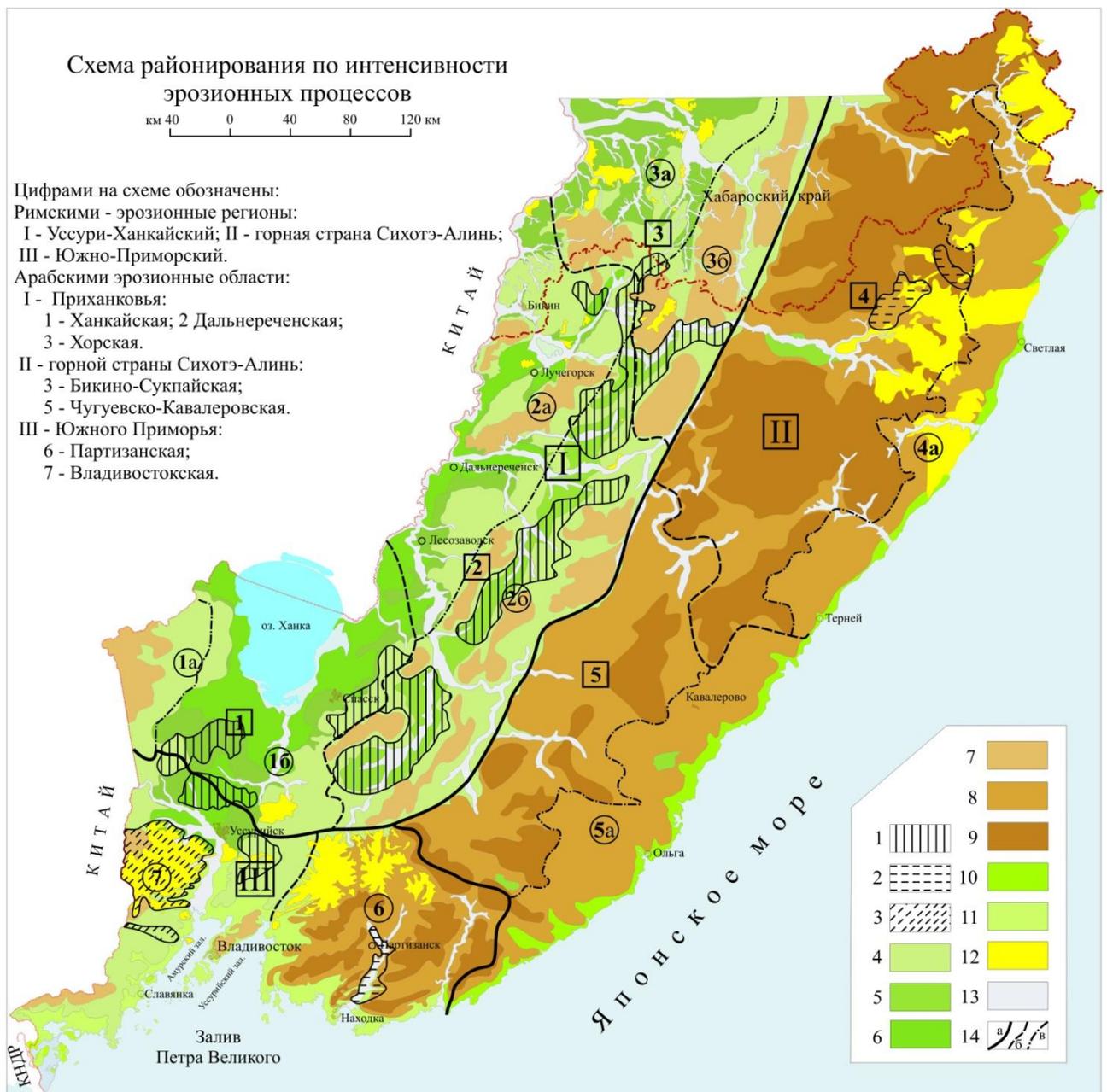
Районирование. Интенсивность современных эрозионных процессов можно оценить по величине модуля стока взвешенных веществ, средней мутности рек и величине эрозионного коэффициента – простым и наиболее наблюдаемым параметрам [19]. Речной сток взвешенных веществ подразделяется на несколько составляющих: дождевой, тало-снеговой и русловой размыв. Основная роль в выносе мелкозема принадлежит дождевому смыву, велика роль и руслового размыва, талая составляющая в Приморье выражена слабее.

Доля дождевого смыва в суммарном стоке взвешенных веществ, на территории Приморья, изменяется в широких пределах. Для рек южного побережья Японского моря (Раздольная, Партизанская) смыв дождевыми водами составляет 65–80 % от годового стока взвешенных веществ; для рек бассейна р. Уссури процент колеблется от 50 до 96 %. Русловой размыв для рек Приморского края, в целом, колеблется от 4 до 50 % годового стока [20].

По дождевому смыву, эрозионному коэффициенту и количеству выпадающих осадков на территории Приморья выделяются три региона. К первому относится бассейн среднего течения реки Уссури и её притоков, ко второму принадлежат бассейны рек восточного побережья Японского моря и верхнего течения западного склона Сихотэ-Алиня, к третьему – бассейны рек юга Приморья реки Раздольная, Артёмовка, Партизанская, Киевка (рисунок 2.4).

Первый эрозионный регион (Уссури-Ханкайский) выделен в северо-западной части территории Приморья. В пределах региона выделяются три области Ханкайская, Дальнереченская и Хорская. Ханкайская область включает бассейны рек впадающих в оз. Ханка. Дальнереченская область – бассейны среднего течения реки Уссури, Большой Уссурки (без верховьев), бассейны рек Бикин и Алчан. Хорская эрозионная область – бассейны нижнего течения реки Хор.

Ханкайская эрозионная область характеризуется слабым развитием эрозионных процессов (годовой смыв здесь составляет 4–5 т/км², эрозионный коэффициент "А" менее 2 т/км² в год, годовое количество осадков оценивается в пределах 500–600 мм/год). Малая интенсивность эрозионных процессов здесь объясняется слабой расчленённостью рельефа, интенсивной задернованностью открытых пространств, плотной залесённостью возвышенностей, заболоченностью низменностей и слабой антропогенной освоенностью. Сток наносов рек этого района формируется, в основном, за счет процессов руслового глубинного и бокового размыва при колебаниях уровня озера Ханка.



Условные обозначения к рисунку 2.4

Аккумулятивные образования и эрозионные процессы:

4 – склоновые отложения мощностью до 28 м в пределах современного низкогорного рельефа в Западном Приморье. Распространены плоскостная, боковая и глубинная речная эрозия, с образованием промоин, оврагов, балок, скульптурных равнин, увалов, островных гор, речных террас, конусов выноса;

5 – полигенетические образования «бурые суглинки», лесоиды;

6 – четвертичные отложения в областях современных понижений мощно-

стью до 80–100 м. в Западном Приморье, перекрытые более поздними образованиями. Результаты эрозионных процессов (балки, овраги промоины, речные долины) выполнены более поздними образованиями и нивелированы;

7 – склоновые отложения в пределах современного среднегорного рельефа в Западном Приморье. Распространены процессы глубинной речной эрозии;

8 – делювиальные отложения. Современный среднегорный сниженный рельеф в Сихотэ-Алине. Широко распространены процессы речной эрозии, в восточном Сихотэ-Алине – процессы глубинной эрозии;

9 – делювиальные отложения. Современный среднегорный массивный рельеф в Сихотэ-Алине. Широко распространены процессы речной эрозии;

10 – прибрежная полоса в восточном Приморье, здесь распространены: в верховьях – речная, донная эрозия, в прибрежной зоне – процессы аккумуляции (аллювиальные [русловые и пойменные фации мощностью до 18 м], алювиально-морские [пойменные фации до 30 м] и морские [песчаные и галечные пляжи мощностью до 10 м] отложения, на побережье – абразия;

11 – прибрежная полоса в южном Приморье, здесь распространены: в верховьях – речная, донная эрозия, в прибрежной зоне – процессы аккумуляции (аллювиальные [русловые и пойменные фации мощностью до 28 м], алювиально-морские [пойменные фации до 40 м] и морские [песчаные и галечные пляжи мощностью до 7 м] отложения), на побережье – абразия;

12 – базальтовые плато, здесь распространены: в пределах плато – овражная и речная (глубинная и боковая) эрозия; площадная кора выветривания мощностью до 20 м; на краях плато – обвалы, осыпи, оползни.

В Дальнереченской эрозионной области годовой смыв составляет 5–10 т/км², среднее значение эрозионного коэффициента "А" возрастает до 8 т/км² в год, количество осадков достигает 600–700 мм/год. Усилению эрозии в этом районе способствует частичная распашка водосборов, нарушение целостности растительного покрова, отработка месторождений твердых полезных ископаемых (месторождений угля, руд и россыпей золота) открытым способом. Сток наносов формируется, в основном, за счет дождевого смыва почв (плоскостная эрозия) и размыва берегов рек в периоды наводнений.

Хорская эрозионная область характеризуется несколько более высоким годовым смывом. Возрастанию дождевого смыва способствует более высокое количество осадков (800–900 мм/год) и более резкий (–24 °С +20 °С) перепад средних зимних и летних температур (январь–июль).

Второй эрозионный регион (горная страна Сихотэ-Алинь) включает бассейны верховья рек, стекающих с восточных и западных склонов Сихотэ-Алиня, без бассейнов рек южного Приморья. Этот район характеризуется слабым развитием эрозионных процессов (годовой смыв здесь составляет 4–5 т/км², эрозионный коэффициент "А" менее 2 т/км² в год, количество осадков в разных частях региона оценивается в интервале от 700 до 900 мм/год). Малая интенсивность эрозионных процессов является следствием плотной залесённости (до 95 %) и наличием трудно размываемых коренных пород Сихотэ-Алиня. Сток наносов рек этого района формируется, в основном, за счет процессов бокового руслового размыва на за-

падном склоне и глубинного руслового размыва на восточном склоне.

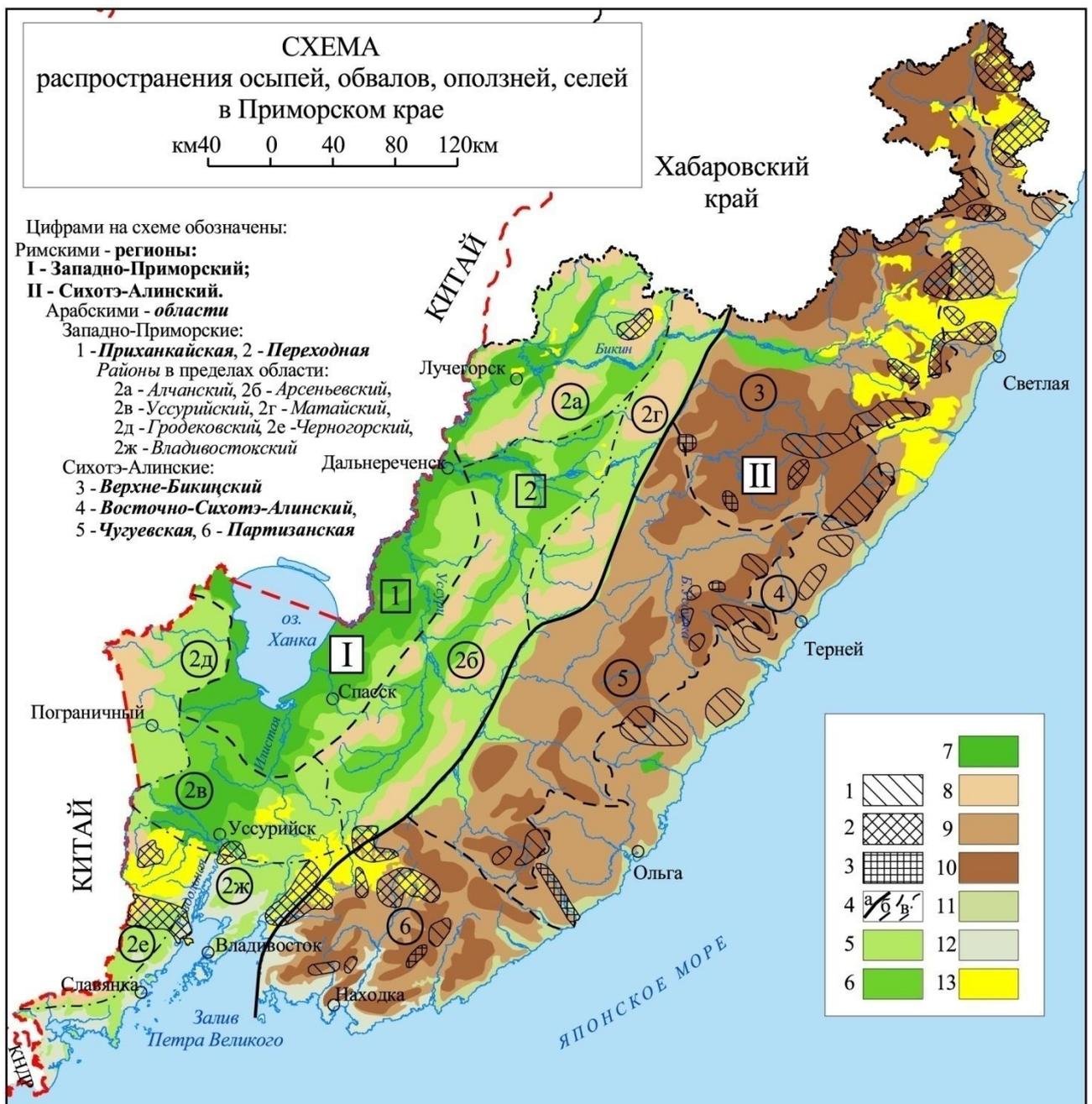
Однако современное положение в регионе меняется в связи интенсивными, в последние годы, вырубками леса и прокладкой множества временных дорог для вырубки и вывозки леса.

Третий эрозионный регион (Южно-Приморский) включает бассейны рек юга Приморья: Раздольная, Артёмовка, Партизанская, Киевка и рек восточного склона Восточно-Маньчжурских гор, где наиболее благоприятные условия для проявления эрозии. Дождевой смыв здесь достигает 10–20 т/км² в год, значение эрозионного коэффициента "А" составляет >10 т/км² в год. Высокая интенсивность эрозионных процессов здесь обусловлена, наиболее высоким количеством осадков (до 800–1000 мм/год) и интенсивным антропогенным воздействием.

По преобладающим формам проявления эрозии (и аккумуляции) выделяются две области сноса и одна область аккумуляции (рисунок 2.5). Первая область сноса – горная страна Сихотэ-Алинь (без юго-западного окончания); Вторая область сноса – Южное Приморье (южная часть горной страны Сихотэ-Алинь, бассейн реки Раздольная и восточные склоны Восточно-Маньчжурского нагорья); Область аккумуляции – Западное Приморье.

Область сноса. Областью сноса в Приморском крае является горная страна Сихотэ-Алинь и восточные отроги Маньчжурского нагорья. В пределах северной части горной страны Сихотэ-Алинь преобладают виды линейной эрозии (речная глубинная и боковая), на восточном склоне кроме того широко развиты площадная эрозия (солифлюкция), на крутых склонах и краях базальтовых плато – осыпи, оползни, обвалы, на морском побережье – абразия. Аккумулятивные процессы здесь проявлены в образовании аллювиальных отложений пойм рек и террас, аллювиально-пролювиальных и пролювиально-делювиальных шлейфов, в областях развития известняков известны проявления процессов карстообразования, на склонах ближе к морю аллювиально-морских и морских террас, кос, пересыпей. На южном склоне преобладают виды линейной эрозии (речная глубинная и боковая), на юго-западных склонах Сихотэ-Алиня и восточном склоне восточного фланга Восточно-Маньчжурского нагорья широко развиты площадная эрозия (солифлюкция, задернованные осыпи, оползни), на крутых склонах и краях базальтовых плато – осыпи, оползни, обвалы, в областях развития известняков известны проявления процессов карстообразования, на морском побережье – абразия. Аккумулятивные процессы здесь проявлены в образовании аллювиальных отложений пойм рек и террас, аллювиально-пролювиальных и пролювиально-делювиальных шлейфов, на склонах ближе к морю аллювиально-морских и морских террас, кос, пересыпей.

Область аккумуляции. Аккумулятивной морфоструктурой в Приморье являются Западно-Приморская (Ханкайская равнина и долина р. Уссури). Она представляют собой обширную плоскую заболоченную равнину, над которой возвышаются останцовые горные массивы хребтов Вандан, Хехцир, Стрельниковский, отдельные островные горы и возвышенности. Она включают в себя поймы и надпойменные террасы р. Уссури, оз. Ханка и их притоков, аллювиально-пролювиальные и пролювиально-делювиальные шлейфы на склонах.



Области распространения экзогенных процессов: 1 – осыпи и обвалы; 2 – оползни; 3 – сели, 4 – границы: а – морфоструктур; б – зон внутри морфоструктур; в – подзон внутри зон, 5 – локальные морфоструктуры (третичные угленосные впадины). 6 – локальные морфоскульптуры (хребты); 7.– базальтовые плато

I – Западно-Приморская морфоструктура: 1–5 – зоны Западно-Приморской морфоструктуры: 1 – Ханкайская зона с подзонами: 1а– Дальнереченская; 1б – Спасская; 1в – Турийрогская; 2 – Приханкайская зона с подзонами 2а – Большеуссурская; 2б – Малиновская; 2в – Арсеньевская; 2г – Пограничная; 3 – Барабашская зона; 4 – Владивостокская; 5 – Алчанская.

II – Сихотэ-Алинская морфоструктура. 6–10 – зоны Сихотэ-Алинской морфоструктуры: 6 – Центральная с подзонами: 6а – Северная, 6б – Среднебикинская, 6в – Бол. Уссурская; 7 – Тернейская; 8 – Верх. р. Уссури; 9 – Ольгинская; 10 – Партизанская.

а–г – Базальтовые плато: а – Борисовское; б – Шкотовское; в – Зевинское; г – Самаргинское.

Показаны площади, пораженность процессом которых достигает 20 % и более.

Рисунок 2.5 – Схема развития осыпей, обвалов, оползней и селей [20]

Здесь преобладают площадные виды эрозии (плоскостной смыл, солиф-

люкция), в долинах рек и на пологих склонах развиты линейные виды эрозии (речная боковая в бассейне рек впадающих в оз. Ханка – глубинная), в областях развития известняков известны проявления процессов карстообразования. Аккумулятивные процессы здесь проявлены в образовании мощных (до 100 м) аллювиальных отложений на территориях унаследованного развития третичных понижений (угленосных впадин) и оз. Ханка, площадных покровных полигенетических образований «бурых суглинков» (предположительно эолового происхождения), четвертичных биогенных образований (торфов), озёрных и озёрно-аллювиальных отложений.

В восточной части Западно-Приморской морфоструктуры выделяется переходная область – область транзита.

Область транзита. Область перехода от Западно-Приморской равнины к горной стране Сихотэ-Алинь может рассматриваться как область транзита выветрелого и смытого материала от области сноса в область аккумуляции. Эта область представляет собой цепочку небольших кайнозойских впадин окаймляющих Западно-Приморскую и Средне-Амурскую равнину с востока, отделённых и окруженных цепочками невысоких горных хребтов.

Здесь развиты площадные виды эрозии (плоскостной смыв, солифлюкция), в долинах рек и на пологих склонах – линейные виды эрозии (речная боковая и глубинная с образованием промоин, оврагов, балок), в областях развития известняков известны проявления процессов карстообразования. На крутых склонах задернованные оползни, осыпи, на побережье оз. Ханка – абразия. Аккумулятивные процессы здесь проявлены в образовании мощных (до 40 м) аллювиальных и озёрно-аллювиальных отложений на территориях унаследованного развития третичных понижений (угленосных впадин) и речных террас. В обрамлении кайнозойских впадин развиты педименты – слившиеся обширные делювиальные шлейфы, конуса выноса.

Проявление процессов осыпания, обвалов и оползней. Экзогенные процессы, связанные с разнообразными гравитационными смещениями горных пород, деятельностью подземных и поверхностных вод и другими факторами на склонах гор, проявляются в образовании осыпей, курумов, обвалов, оползней (рисунок 2.5). Различают природные оползневые явления, развивающиеся на крутых склонах гор, речных долин, на берегах озёр, водохранилищ и морей, а также техногенные оползни, являющиеся следствием деятельности человека. Первые могут быть вызваны естественными причинами: локальными сильными дождями, абразией речных и морских берегов, землетрясениями. Техногенные оползневые процессы возникают на бортах крупных карьеров, создаваемых для открытой разработки месторождений полезных ископаемых, на бортах отвалов карьеров и на склонах сопки в пределах населённых пунктов (города Владивосток, Находка, Дальнегорск) в процессе разработки карьеров или возведения хозяйственных объектов (строительство жилых домов, прокладка дорог).

Обвалы с последующим осыпанием приурочены чаще всего к денудационным останцам, денудационным склонам крутизной более 45° и абразионно-денудационным берегам. Величина и форма обломков, слагающих осыпь, зна-

чительно изменяются в зависимости от состава и раздробленности материнских пород от 0,2–0,3 м до 4–5 м, но отдельные обломки могут достигать 500 м³. В осыпных отложениях, как правило, отмечается сортировка материала: в нижней части осыпи преобладают более крупные обломки.

Осовы являются переходной формой между осыпаниями и оползанием. Осовы характерны для осыпных склонов крутизной более 30°. Масса осова сложена в основном грубообломочной фацией, в нижней части с суглинистым, супесчаным заполнителем. Сдвигение осовов происходит под действием силы тяжести, увлажнение играет существенную роль в процессе их формирования. Осов массы обломков происходят с относительно высокой линейной скоростью. Чаще всего они наблюдаются на участках "прижимов" горных рек к осыпным склонам.

В этом случае основной причиной осовов является интенсивная подрезка осыпей речными потоками, не исключена возможность образования осовов при сильных землетрясениях. Осовы возникают и на побережье в результате абразии.

В Сихотэ-Алинском регионе осыпи, осовы, курумы имеют наибольшее распространение по сравнению с другими регионами. Самые большие площади, пораженные этими процессами, находятся в Прибрежном подрегионе. Наибольшая пораженность осыпями и курумами (до 80 %) отмечена севернее р. Зеркальной, в междуречье Зеркальной и Кривой, в окрестностях горы Голой. Этот район подвержен наиболее активному неотектоническому поднятию и интенсивному физическому и химическому выветриванию. Он сложен преимущественно покровами андезитовой и риолитовой формаций мела и базальтоидами палеогена-неогена. Площади осыпных склонов от 10 до 50 км², пораженность 10–40 %, иногда до 80 %. Осыпные склоны крутизной до 40° часто находятся в критическом состоянии, при котором малейшее нарушение равновесия может привести к осову. Самый большой участок осыпных склонов (курумов) отмечен в пределах гор Ника, Курортной и Снежной. Площадь его примерно 500 км², пораженность – 30–40%. В Центрально-Сихотэ-Алинском подрегионе осыпные процессы проявлены меньше.

Наиболее крупные осыпи отмечены в окрестностях г. Черной, хребта Партизанского и на севере региона по границе с Хабаровским краем. Осыпи (курумы) и осовы приурочены в основном к выходам пород гранитоидной формации, пораженность склонов 10–40 %, иногда до 60 %. На хребте Алексеевском, у гор Ольховой, Крутой (примыкают к хребту Партизанскому) и Лысой, распространены курумовые обвально-осыпные образования.

В настоящее время обвалы и осыпи в Центральном Сихотэ-Алине и на Восточно-Маньчжурском нагорье наблюдаются в небольших масштабах, что связано с относительно слабой активностью эрозионных процессов, умеренной крутизной и сильной залесенностью склонов. Большее распространение они имеют в бортах речных долин Восточного макросклона Сихотэ-Алиня сложенных верхнемеловыми эффузивами, где этому способствует интенсивная глубинная эрозия, особенно в прибрежной полосе Японского моря на участках интенсивной абразии берегов, сложенных коренными породами. Здесь отмечены

площади свыше 500 км², пораженные осыпями до 30–50 %.

Осыпи (курумы) первого рода (курумовые моря) встречаются, в основном, на выположенных участках водоразделов и террасовидных склонов. В плане они представляют собой поля неправильной и овальной формы. Часто они слагают наибольшие возвышенности (до 30 м) на плоских водоразделах. Курумовые поля на пологих (до 20°) склонах образуют нагорные террасы высотой до 5 м. Курумы второго рода (курумовые реки) чаще всего начинаются в водосборных воронках, возникающих вследствие морозно-нивальной денудации поверхностей. В плане это поля вытянутой формы.

Наибольшие площади осыпей в Центрально-Сихотэ-Алинском подрегионе отмечены в бассейнах рек Арму, Дальней, Бол. Уссурки и правых притоков р. Уссури, где они занимают привершинные части гор. Площади осыпных склонов составляют 10–20, реже 30 км², пораженность процессом 10–20, редко 50 %. Отдельные осыпи занимают площади до 0,5 км².

На севере Приморья приводораздельные части склонов занимающие обширные площади (70 км²), поражены осыпями до 60 %. Осыпи приурочены к верхним частям склонов наиболее высоких гор (г. Аник и др.). Процесс курумо- и осыпеобразования в вершинном поясе в настоящее время усиливается в связи с возросшей континентализацией климата и воздействием на лесные ландшафты пожаров и промышленных лесозаготовок.

Обвалы, осыпи и осыпи техногенного происхождения образуются в бортах выемок и подрезок склонов в результате различного рода строительства и отвалах разрезов. Опыт эксплуатации дорог и других инженерных сооружений в горных районах края показывает, что обвалы и осыпи периодически повторяются и могут наносить значительный материальный ущерб.

Оползни. Под оползнями понимают крупные смещения различных горных пород по склону под влиянием силы тяжести. Смещение горных пород начинается в результате нарушения равновесия откоса и продолжается до достижения нового состояния равновесия. Выделяют три стадии процесса: подготовка оползня, собственно оползневое смещение и последующая жизнь откоса и смещенных масс. Эти события можно характеризовать как процесс. Оползень как результат процесса включает в себя как смещенные породы, так и измененный оползнем рельеф местности. Оползневой процесс возникает вследствие несоответствия крутизны склона составу и состоянию слагающих его пород, когда касательные напряжения становятся больше сопротивления сдвигу. В результате часть оползневого массива отделяется и по поверхности скольжения смещается вниз. Все эти процессы широко развиты на территории Приморья.

Оползни представляют угрозу жизнедеятельности человека и всем без исключения инженерным сооружениям. Поэтому детальное изучение оползневых массивов является одним из самых ответственных и сложных видов инженерно-геологических изысканий.

На юге Приморья природные оползни приурочены к краевой части Шуфанского и Шкотовского плато, где под базальтоидами в большинстве случаев лежат почти горизонтально залегающие осадочные породы суйфунской, усть-

суйфунской и усть-давыдовской свит. Отложения этих свит слабо литифицированы, в их составе присутствует туфогенный материал, поэтому они быстро выветриваются до песков, глин, суглинков, по которым и происходит оползание блоков базальтоидов. Оползни приурочены к бортам рек, прорезающих плато на полную мощность. Часто оползневые участки сопряжены друг с другом и образуют оползневой склон, который может достигать 8–10 км по простиранию и до 3–4 км в ширину. Стенки отрыва образуют в рельефе крутой (60–70°) уступ высотой до 100 м, часто уступ дугообразного простирания, образующего оползневой цирк. Блоки базальтов при движении обнаруживают запрокинутость в сторону уступа, образуя оползневые формы рельефа ступенчатого профиля с высотой ступеней 10–15 м, иногда до 50 м, различной площади, который характеризуется наличием мелких бугров высотой 10–30 м, разделенных многочисленными бессточными ложбинами. Террасовидные площадки распространены, в основном, в нижней части склона. Наклон оползневых террасовидных площадок пологий (до 10°).

Наличие бугров характерно для пологих оползневых склонов, оно свидетельствует о молодости оползневого процесса, так как на древних оползневых телах и крутых склонах бугры часто сnivelированы и представлены террасовидными площадками. О молодости оползней можно судить и по стенке срыва – у современных оползней стенки чаще обрывистые, скалистые, а у древних – сглаженные, залесённые. В тех случаях, когда речной сетью прорезаны не только базальтоиды и рыхлые палеоген-неогеновые отложения, но и нижележащие скальные породы, оползневые тела расположены только на выположенных склонах, сложенных палеоген-неогеновыми отложениями. На нижележащих скальных породах с крутыми склонами оползневые накопления отсутствуют, они удалены эрозионными и другими процессами. Оползневые накопления представлены глыбами и щебнем базальтов и андезито-базальтов с суглинстым наполнителем.

Такие же оползни наблюдаются на северо-западе Приморья в бассейне реки Алчан и правых притоков реки Тахало. Здесь базальты залегают на кислых и средних эффузивных и эффузивно-осадочных породах нижнего мела, иногда на слабосцементированных маломощных породах палеоген-неогена (галечники, гравийники, пески). Отложения этих свит слабо литифицированы, в их составе присутствует туфогенный материал, быстро выветривающийся глины и суглинков, по которым и происходит оползание блоков базальтов. Склоны часто имеют ступенчатые профили с высотой ступеней до 10 м. Это, в основном, поверхностные оползни с малой мощностью оползневого тела. Длина оползней до 500 м, протяженность до нескольких километров.

В горной стране Сихотэ-Алинь, в основном, отмечены оползни на восточном склоне, в области развития вулканитов (чаще всего базальтоидов). Наибольшее распространение они получили в краевых частях базальтовых плато в бассейнах рек Зевы, Килоу, Ады (левый приток Бикина), Кабаньей, Единки, Самарги, в верхнем течении Кемы, Таёжной, на южном склоне г. Солонцовой.

Оползание грубообломочных обвальных накоплений происходит по мел-

коземистой составляющей кор выветривания базальтов и нижележащих скальных пород. Оползневые тела имеют небольшие размеры.

В бассейне верхнего течения р. Кемы базальты залегают на кислых эффузивах с мощными корами выветривания. Там при интенсивном врезе водотоков, амплитуда смещения оползней достигает 500 м, степень отрыва иногда до 100 м.

На территории края преобладающее развитие оползни получили на площадях распространения платобазальтов. Ограничивающим фактором развития оползней являются большая мощность базальтов и отсутствие подстилающих их кор выветривания или рыхлых суйфунских отложений.

В настоящее время, по мере освоения новых территорий, усиливается роль инженерной деятельности человека в формировании оползней. При этом оползанию могут подвергаться как борта карьеров, так и отвалов. Оползни бортов и уступов Лучегорского бурогоугольного разреза наблюдались на протяжении всего периода его строительства и эксплуатации.

Основной причиной сползания откосов (оползней) является склонность глинистых пород к разуплотнению под действием увлажнения. Плотные тугопластичные глины разреза при увлажнении переходят в мягко- и текучепластичное состояние. Гидрогеологические условия месторождения отличаются наличием большого количества водоносных горизонтов, их неравномерной водообильностью. Причем нижележащие водоносные горизонты обладают напором. Питание их происходит за счет атмосферных осадков в местах выходов угольных пластов под четвертичные отложения.

Оползни в форме оплывин встречаются и на отвалах отработанных и рекультивированных угольных разрезов, когда отвалы отсыпают на пологий обводненный склон, как это произошло на разрезе «Павловка–I».

Оползания бортов выемок или склонов, даже с небольшим уклоном, наблюдаются при строительстве. Так в районе г. Уссурийска в 1989 г. произошло оползание склона в результате подрезки его основания при прокладке дороги, Несколько раньше там же на строительной площадке ТЭЦ образовался оползень, существенно осложнивший условия строительства. В Находке в 1991 г. произошло оползание склона на площадку судоремонтного завода. Тело оползня, деформировав складское помещение, вышло на территорию Рыбного порта.

Карст. Процессы денудации связанные с воздействием подземных и поверхностных вод на карбонатные и другие избирательно растворимые породы выражаются в форме проявления карста. Формы растворения встречающиеся на других породах, образующие формы рельефа описываются как псевдокарст.

Поверхностными формами проявления карста являются неглубокие рытвины, или борозды называемые карами, замкнутые понижения (воронки, котловины, поля, колодцы, шахты, слепые овраги и долины), ниши в обрывах. На дне воронок встечаются водопоглощающие отверстия – поноры, часто являющиеся началом шахт или колодцев. Кроме поверхностных форм рельефа, вода создает целую систему подземных карстовых форм в виде различных полостей. Среди них можно выделить группу вертикальных, наклонных и субгоризонтальных карстовых ходов и пещер. Большие карстовые пещеры многоярусные и

состоят из целого лабиринта переходов и разветвлений.

Когда поверхность растворимых горных пород обнажена, комплекс поверхностных и подземных карстовых форм называется голый карст; когда горные породы перекрыты слоем почвы и задернованы – задернованный карст; перекрыты нерастворимыми рыхлыми осадками – покрытый карст; полускальными и скальными образованиями – бронированный карст. В случае погребения под некарстующимися толщами образуется т. н. погребённый карст.

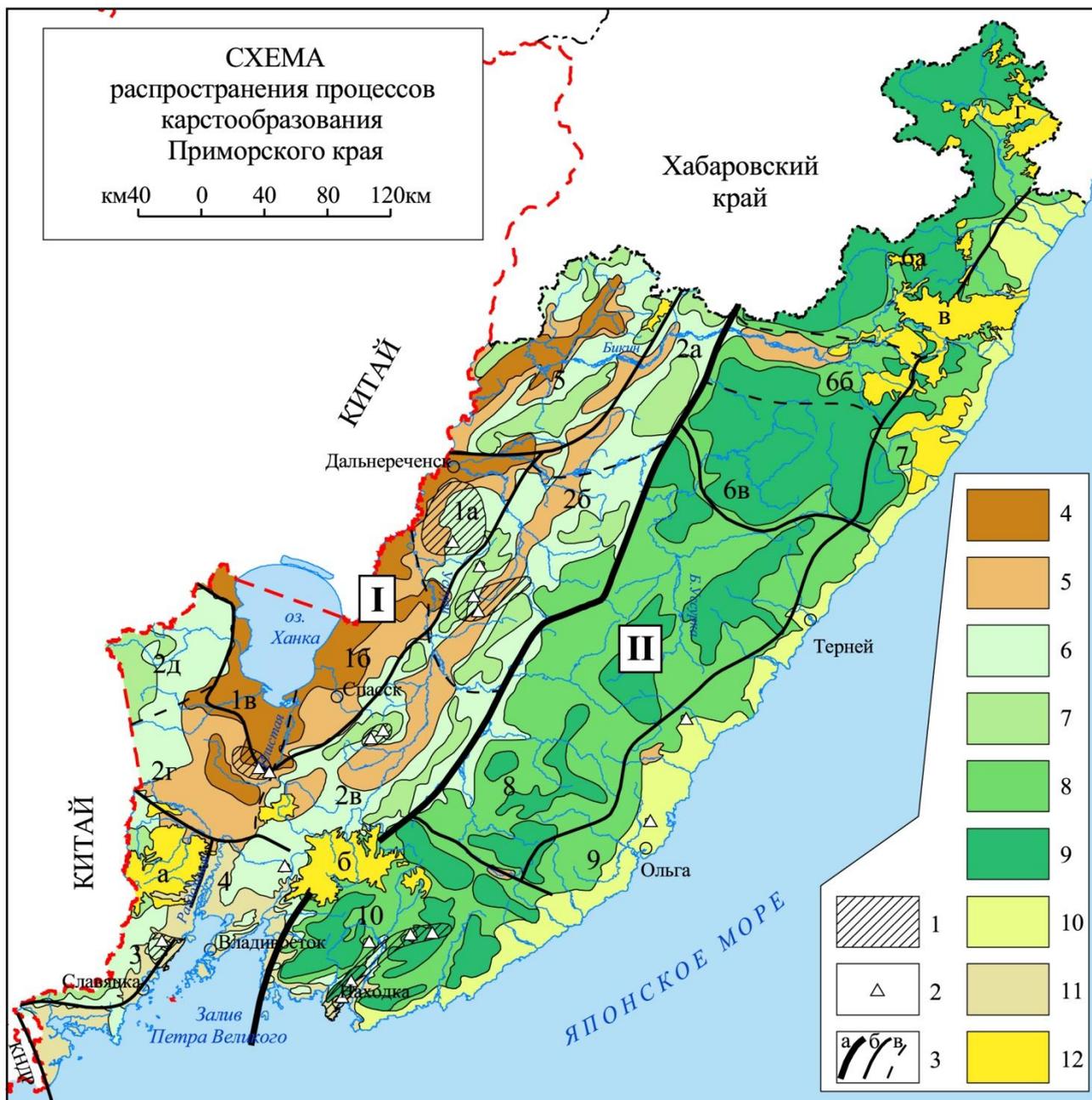
В Приморье карстующиеся породы и сопровождающие их проявления карста имеет ограниченное распространение (рисунок 2.6). Карст приурочен преимущественно к карбон-пермским и кембрийским известнякам, мраморам, доломитам, хотя проявления карста известны и на триас-юрских известковых массивах. В Приморье известен погребённый и голый карст; подземные и поверхностные формы – пещеры, воронки, гроты, ниши, карры. Кроме того в Дальнегорском и Ольгинском районах известен Гидротермальный подтип карста, который приурочен к известнякам полиметаллических месторождений. Проявления псевдокарста отмечаются на выходах гранитных массивов.

Абразия. Морская береговая линия в Приморском крае вытянута на 700 км. в северо-восточном направлении (от мыс. Поворотный до мыса Золотой), на юге от р. Туманной до мыса Поворотного береговая линия простирается в субширотном направлении на 200 км. Здесь в береговой зоне одним из основных экзогенных геологических процессов является абразия.

Абразия это процесс механического, химического и термического разрушения и сноса горных пород в береговой зоне водоёмов (океанов, морей, озёр, водохранилищ) волнами и прибоем, а также воздействием на горные породы перемещающегося и взвешенного в воде обломочного материала и кавитации. Волны разрушают берег. Ударная сила волны может быть очень велика. Во время сильных штормов высота волн может достигать 15–20 м, а сила удара 10–30 т/м². Во время одного из штормов в исландском порту Вик волны сдвинули глыбу весом 1370 т на 10 – 15 м. Абразия приводит к отступлению берега. Скорость отступления зависит от многих факторов и редко бывает постоянной, иногда она может достигнуть 50–80 м/год. В Приморском крае на южном побережье она оценивается в 20–150 м. за 100 лет.

В результате абразии создаются специфические формы рельефа: волно-прибойные ниши, абразионные уступы (клифы), подводные абразионные террасы или платформы (бенч), кекуры.

В зоне прибоя образующийся при абразии песок, галька, гравий, и более крупный обломочный материал слагают подводную аккумулятивную террасу, прилегающую к бенчу и аккумулятивные береговые и подводные формы рельефа (косы, пересыпи и др.) с которыми связаны морские россыпи и месторождения строительных материалов. Взвешенные в водах осадки абразионного происхождения мигрируют вдоль береговой полосы либо выносятся течениями за пределы береговой зоны и отлагаются в более глубоких частях водоёмов. В структуре береговой зоны различаются консервативные, реликтовые и прогрессивные элементы.



Проявления карста: 1 – закарстованные массивы; 2 – места проявлений карста.

3 – Границы: а – морфоструктур; б – зон внутри морфоструктур; в – подзон внутри зон.

4 – локальные морфоструктуры (третичные угленосные впадины); 5 – локальные морфоскульптуры (хребты); 6 – базальтовые плато

I – Западно-Приморская морфоструктура

1–5 – зоны Западно-Приморской морфоструктуры: 1 – Ханкайская зона с подзонами: 1а – Дальнереченская; 1б – Спасская; 1в – Турийрогская; 2 – Приханкайская зона с подзонами 2а – Большеуссурская; 2б – Малиновская; 2в – Арсеньевская; 2г – Пограничная; 3 – Барабашская зона; 4 – Владивостокская; 5 – Алчанская.

II – Сихотэ-Алинская морфоструктура

6–10 – зоны Сихотэ-Алинской морфоструктуры: 6 – Центральная с подзонами: 6а – Северная, 6б – Среднебикинская, 6в – Бол. Уссурская; 7 – Тернейская; 8 – Верх. р. Усури; 9 – Ольгинская; 10 – Партизанская. а–г – Базальтовые плато: а – Борисовское; б – Шкотовское; в – Зевинское; г – Самаргинское. Показаны площади, пораженность процессом которых достигает 20 % и более.

Рисунок 2.6 – Схема распространения процессов карстообразования [20]

Консервативными элементами являются геологические структуры, которые определяют направление развития береговой зоны. Реликтовые – это те элементы, которые сохранились в структуре комплекса от предыдущих стадий развития территории (склоны, к которым подошло море, затопленные речные долины, денудационные останцы и т. д. Прогрессивные элементы – это элементы, зарождающиеся и развивающиеся с начала формирования современного рельефа берега: клифы, бенчи, аккумулятивные формы. Разновидность абразии при разрушении берега, сложенного рыхлыми отложениями, называется размывом берега.

В Прибрежной зоне Приморского края выделены два крупных района с различным типом побережья и берегоформирующих процессов это Южно-Приморский и Восточно-Сихотэ-Алинский районы.

Южно-Приморский район, охватывающий береговую полосу от устья р. Туманной до мыса Оларовского (Бух. Соколовского, п. Преображение). В структуре береговой зоны района определяющую роль играют реликтовые элементы. Здесь преобладает *риасовый тип побережья*, берега представлены Абразионно-ингрессионным, Абразионно-бухтовым и Абразионно-денудационным типами. Комплекс береговых экзогенных процессов здесь складывается из волнения, склоновых, русловых, термоденудационных процессов.

Плейстоценовая трансгрессия Японского моря здесь сопровождалась достаточно сильной абразией коренных берегов, однако её темпы значительно отставали от интенсивности ингрессии. В результате неодинаковой скорости этих двух процессов и возник сильно расчленённый риасовый тип берега. Наиболее интенсивно процессы абразии происходили на мысах, где слагающие их породы наиболее прочные. Образующийся рыхлый материал быстро сносился и образовывались достаточно широкие (20–60 м) подводные абразионные террасы. В позднечетвертичный период море отступило, в результате чего вышли на поверхность ранее затопленные территории, где наблюдается потомогенный тип берега. Характерными элементами которого являются обширные низменности с лагунами и реликтовыми солёными и (или) опреснёнными озерами.

Восточно-Сихотэ-Алинский район побережья охватывает пространство от мыса Оларовского до мыса Золотого и отличается сравнительно простым – выровненным контуром берега. Простота контура берега в Восточно-Сихотэ-Алинском районе объясняется совпадением береговой линии с простираем основных складчатых структур, крупными элементами разрывной тектоники Сихотэ-Алиня и быстрым заполнением возникших заливов обломочным материалом.

Комплекс береговых экзогенных процессов здесь складывается из волнения, склоновых, русловых, термоденудационных и аккумулятивных процессов. В результате их воздействия на побережье образовались: Абразионно-выровненный, Абразионно-бухтовый, Абразионно-денудационный и типы берегов.

Абразионно-выровненный тип берега характерен для побережья среднего и северного Сихотэ-Алиня. Его образование связано с участками интенсивной и равномерно развившейся по фронту берега абразией, приводящей к образованию широкой абразионной платформы. Местами участки абразионно выров-

ненного берега совпадают с местами развития мощных кор выветривания на гранитах. Активное поступление грубообломочного материала чаще всего происходит за счет выноса его крупными водотоками (реками Кемой, Таёжной, Максимовкой, Соболёвкой, Светлой, Самаргой).

Абразионно-бухтовый тип берега характерен для участков побережья с малыми речными долинами, уклоны которых у устья превышают средние уклоны шельфа. Пораженность абразией берегов на участках: мыс. Туманный – м. Кекурный – зал. Ольги (30–70 %); зал. Ольги – бух. Зеркальная – п. Каменка – бух. Кетовое ребро – (от 20 до 90 %). Ширина пляжей здесь составляет 10–20 м. Если размыву подвергаются устойчивые породы (эффузивные, интрузивные), образуются берега со скалистыми обрывами.

Абразионно-денудационный тип берега является господствующим в Восточно-Сихотэ-Алинском районе, где широко развиты выровненные контуры побережья. На участках такого берега наблюдаются значительные углы склонов, что способствует проявлению склоновых процессов. При понижении уровня моря характерны процессы глубинной эрозии.

Скорость абразионных явлений в этом районе в настоящее время замедляется благодаря активному поступлению в береговую зону грубообломочного аллювия и прижимающего этот материал к берегу эффекта холодного прибрежного течения. Замедление абразии привело к тому, что абразионные берега были преобразованы в абразионно-денудационные.

Абразии также подвержены берега озер и водохранилищ. Переработка берегов озер и водохранилищ имеет общую природу с абразией на морском побережье, отличаясь лишь масштабом явлений. Двадцать семь озёр в Приморье имеют площадь зеркала превышающую 1 км². Крупнейшим озером является оз. Ханка (площадь зеркала 4070 км²). Положение береговой линии оз. Ханка изменяется под воздействием новейших тектонических движений земной коры и гидрологического режима озера (волновых явлений, изменений локального уровня и водного баланса). Очертания берегов озера постоянно изменяются в результате разрушения волнами, накопления рыхлого материала, зарастания и заболачивания. Перемещение береговой линии в сторону суши может достигать нескольких десятков метров. Переработке берегов озера способствуют нагонные явления, при которых высота волны достигает 2,3 м [26].

Для водохранилищ Приморья характерно непостоянство уровня воды, которое зависит от природных и антропогенных факторов, поэтому абразионные процессы так же протекают на различных уровнях водоема. Например, при срабатывании воды из Раковского и Артемовского водохранилищ выяснилось, что обнаженные берега имеют ступенчатый вид. Каждая ступень – результат размыва берега при соответствующем уровне водоема.

Режимные наблюдения за переработкой берегов на Артемовском водохранилище свидетельствуют о весьма активном процессе переработки берегов. За четыре года берег отступил на 0,4–4,1 м (15 наблюдательных площадок). Прослеживается тенденция нарастания скорости отступления берега из года в год от 0,0–0,18 м/год в 1986 г. до 0,2–2,1 м/год в 1989 г. [27].

2.3 Морфоструктурный облик

Морфоструктурный облик Приморского края формировался в течение длительной геологической истории под воздействием циклически меняющихся параметров климата, сейсмо-тектонической активности территории и возникших на этой основе экзогенных геологических процессов. При этом на последующих этапах сформировавшиеся тектонические структуры и морфоструктуры разрушались частично или полностью, подновлялись и возникали новые структуры.

В конце мела – начале палеогена на территориях Приморья, Северо-Восточного Китая и севера Кореи сформировалась Сихотэ-Алинский и Восточно-Маньчжурский мегасводы (мегавалы) разделённые Ханкайской скульптурированной равниной с островными горами и увалами. В кайнозое на месте Ханкайской равнины и крыльев Сихотэ-Алинского и Восточно-Маньчжурского мегасводов была наложена или унаследовано наложена *Западно-Приморская мегаструктура*. [13]. Она является элементом Западно-Тихоокеанского (Восточно-Азиатского) рифтового пояса, который в Приморье и прилегающих к нему территориях Китая и Хабаровского края контролируется трансконтинентальной системой разломов Тан-Лу. *Сунгари-Куканский и Центральный Сихотэ-Алинский* глубинные разломы ограничивают рифтовый пояс с запада и востока. Другие разломы рангом ниже в пределах Приморья играют роль границ зон и подзон морфоструктур.

Современный морфоструктурный облик Приморского края определяют две мегаструктуры Сихотэ-Алинская и Западно-Приморская (рисунок 2.7).

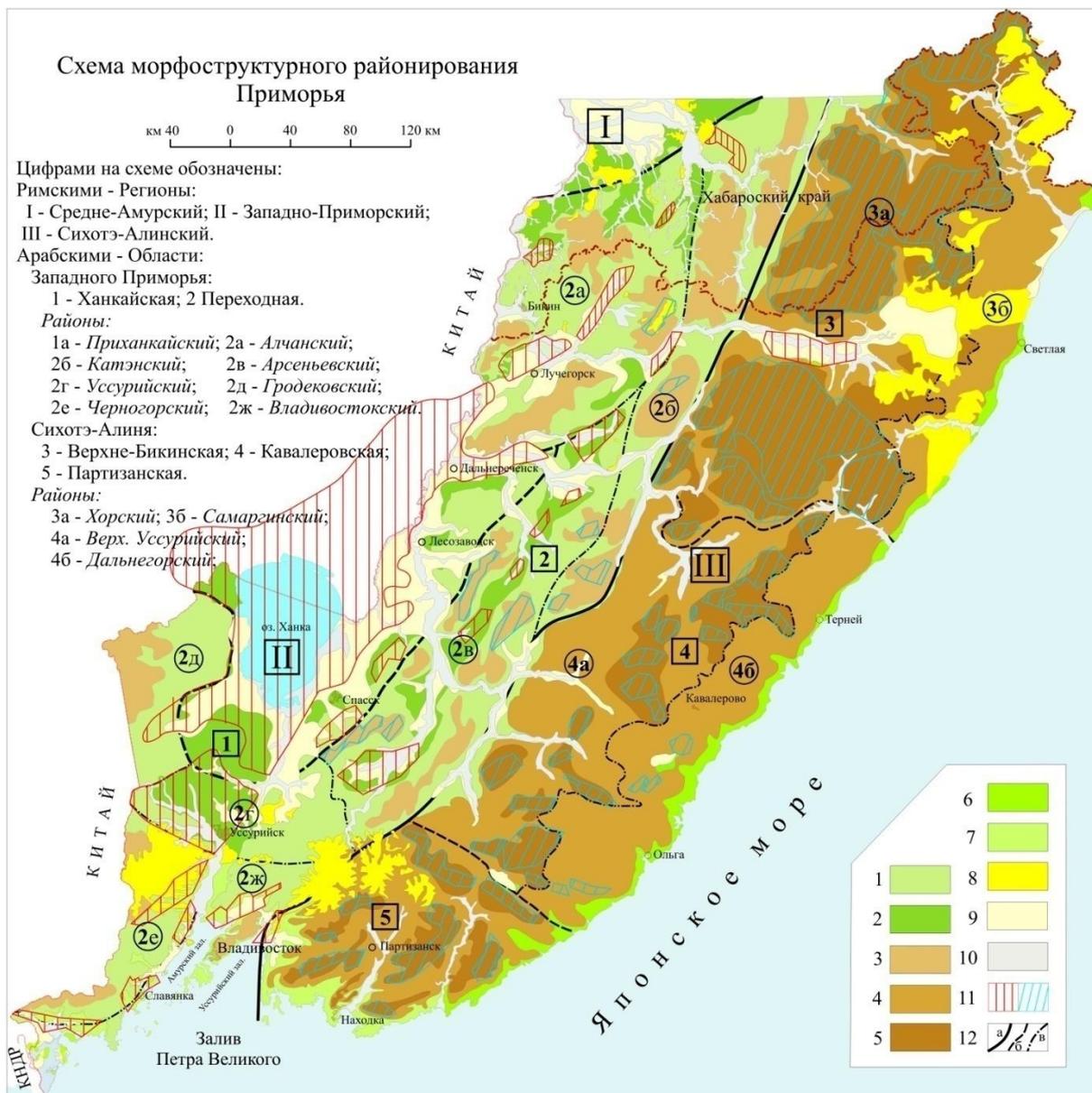
Сихотэ-Алинская мегаструктура простирается от залива Петра Великого на юге до Сахалинского залива на севере на 1450 км при ширине от 130 км на юге до 300 км в северной части. Длина фрагмента мегаструктуры расположенного в пределах Приморского края протягивается на 750 км при ширине от 130 до 250 км. На территории Приморья в пределах Сихотэ-Алинской мегаструктуры по преобладанию и пространственному распределению морфотипов рельефа выделяются три области (части): Северная (Верхне-Бикинская), Центральная (Верхне-Уссурийская) и Южная (Партизанская).

На восточном склоне Сихотэ-Алиня в пределах Зевинско-Сукпайской и Верхне-Уссурийской областей выделяются самостоятельные единицы (районы). На севере (севернее р. Кема) это Самаргинский – 3б, в центре – Кавалеровский – 4а В северной части структуры в пределах Верхне-Бикинского района преобладает массивное среднегорье. В центральной части области массивного среднегорья выстраиваются в цепочку северо-восточного простирания, фиксируя область хребта Сихотэ-Алинь; на юге разрозненные фрагменты областей массивного среднегорья заполняют всю область.

Западно-Приморская мегаморфоструктура сформировавшаяся в кайнозое занимает западную часть Приморского края. Это наиболее сложно построенная структура, формирующаяся на протяжении всей своей истории как структура нарастания вокруг ядра – Ханкайского срединного массива. На севере она граничит со Средне-Амурской мегаморфоструктурой, на востоке с Си-

хотэ-Алинским мегасводом, на юге с впадиной Японского моря.

Внутреннее строение морфоструктуры сложное. В её пределах выделяют ряд зон, состоящих из подзон, которые отличаются по наборам морфоструктур низших рангов, образуемому ими узору, наличию или степени сохранности вещественных комплексов кайнозойского возраста, типам рельефа и др. показателям.



Условные обозначения:

1–3 – элементы Западно-Приморской морфоструктуры: низкоегорье (1); аккумулятивные равнины (2); среднегорье (3); 4–5 – элементы Сихотэ-Алинской морфоструктуры: среднегорье пониженное (4); среднегорье массивное (5); 6–7 – аккумулятивные равнины северо-восточного побережья (6); и южного побережья (7); 8 – базальтовые плато; 9 – области распространения процессов заболачивания; 10 – рельеф склонов речных долин; 11 – области понижения (а) и повышения рельефа (б) в кайнозое; 12 – границы между: регионами (а); областями (б); районами (в);

Рисунок 2.7 – Схема морфоструктурного районирования Приморья [20]

Преобладающими здесь являются депрессионные морфоструктуры (грабены, квазиграбены и остаточные грабены, грабен/синклинали и мульды, остаточные горсты); Положительные морфоструктуры представлены квазигорстами и горстами, в меньшей мере – глыбами и сводово-глыбовыми поднятиями и диапироподобными морфоструктурами [13].

Этот облик рельефа сформировался на фоне происходивших эндогенных процессов (разнонаправленного движения отдельных блоков: тектонического поднятия, опускания, горизонтального смещения и проявлений вулканизма), изменения базиса приёмных бассейнов, изменений климата и сопровождающих эти явления в кайнозойе чередования поочерёдно преобладающих экзогенных процессов выветривания, денудации и аккумуляции.

Рельеф. Короткий А. М. [3] на территории Приморья выделяет следующие морфо- и генотипы рельефа, определяющие современный облик рельефа: среднегорный (среднегорный массивный и среднегорный пониженный) комплекс форм рельефа; низкогорный, комплекс; аккумулятивные равнины континентальных депрессий и морских побережий; рельеф склонов речных долин; долинный комплекс форм рельефа; голоценовые поверхности озерно-болотной и болотной аккумуляции.

Среднегорный рельеф выделяется в пределах горной страны Сихотэ-Алинь. На склонах резко расчлененного массивного среднегорья (области 3, 4, 5) среди аномальных экзогенных процессов преобладают обвальное-осыпные и солифлюкционно-курумовые. В пределах умеренно расчлененного пониженного среднегорья и низкогорья особенно в северной области (область 3) – значительное распространение получили солифлюкционные процессы.

Низкогорный и среднегорный комплексы форм рельефа выделены в обрамлении Западно-Приморской равнины. Они характеризуется на водоразделах, седловинах и террасовидных поверхностях – мощными корами выветривания, на пологих склонах закреплёнными реликтовыми осыпями, на крутых склонах – древними задернованными оползнями.

Аккумулятивные равнины выделены в обрамлении Уссури-Ханкайской впадины и на побережье Японского моря. На отдельных участках равнины перекрыты базальтами. Остатки древних вулканов образуют здесь высокие останцы, у подножья которых сформировался мощный (до 40 м) покровный глинисто-щебнистый чехол. Из Ханкайской котловины равнина «затягивается» вверх по долинам рек. Возникновение этой равнины связано с позднечетвертичным этапом аккумуляции, когда уровень оз. Ханка достиг максимальных для плейстоцена отметок. Во время голоценового понижения уровня озера и значительного похолодания развитие получили эоловые процессы с образованием песчаных гряд на озерной равнине. Повышение уровня озера в позднем голоцене привело к возникновению в обрамлении озера обширных низинных болот.

Рельеф низменных ландшафтов прибрежной зоны Японского моря формировались в условиях мощной трансгрессии. Подъем уровня моря сопровождался проникновением морских вод по речным долинам и проявлением активной абразии. В это время возникли риасовый и абразионный типы побережий. На пике голоцено-

вой трансгрессии возникли обширные аккумулятивные равнины (Короткий, Худяков, 1990). Понижение уровня моря за последние две тысячи лет на 1–1,5 м ослабило абразию коренных берегов, но резко активизировало размыв аккумулятивных форм в пределах побережья. Вновь начавшийся подъем уровня с активизацией штормов и эпизодическим проявлением цунами привел к усилению размыва морских берегов, заболачиванию низменных равнин и возникновению в устьях рек лагун и озер.

Рельеф склонов речных долин подразделяется на три типа: рельеф, созданный глубинной эрозией, рельеф, созданный глубинной и боковой эрозией и рельеф эрозионных склонов, интенсивно переработанных денудацией.

Рельеф, созданный глубинной эрозией. Этот рельеф развит на участках резко расчлененного массивного среднегорья и в зонах регрессивной эрозии в пределах ступенчато-плоскогорного среднегорья и низкогорья. Обычно на участках развития этого типа рельефа распространены ущелья с узким днищем и крутыми, иногда отвесными склонами с обвально-осыпными накоплениями, а в пределах полей базальтов - с оползнями. Склоны этого типа в верхней части расчленены водосборными воронками, солифлюкционными и нивационными нишами, с которыми связаны каменные моря. Наиболее крутые склоны наблюдаются в водосборных воронках, выработанных в базальтах.

Рельеф, созданный глубинной и боковой эрозией. Этот тип склонов имеет широкое распространение в бассейне реки Уссури и на восточном склоне Сихотэ-Алиня особенно в пределах резко расчлененного среднегорья и низкогорья (области 3, 4). Этот тип склонов, обычно прямых (крутизна свыше 30°), сочетается с узкими гребневидными водоразделами и глубокими седловинами. На поверхности склонов, расчлененных часто глубоковрезанными ложками, наблюдаются многочисленные выходы коренных пород, местами осыпи.

Рельеф эрозионных склонов, интенсивно переработанных денудацией, характерен для массивного и ступенчато-плоскогорного среднегорья и низкогорья (области 3, 4), хорошо развитых на участках бассейновой и долинной асимметрии. В обрамлении базальтов эти склоны имеют ступенчатый характер, обусловленный формированием оползней, пологой подстилающей базальты поверхности и интенсивной глубинной эрозией.

Долинный комплекс форм рельефа. К этому комплексу отнесены формы рельефа, созданные флювиальными процессами – аккумулятивные и цокольные террасы, малые эрозионные формы и связанные с ними конуса выноса, а так же формы полигенного происхождения – водосборные воронки, пролювиально-склоновые, аллювиально-курумовые и прочие шлейфы. Как самостоятельную форму долинного рельефа следует выделять аллювиально-курумовые шлейфы широко развитые в долинах рек Сихотэ-Алиня. Они образуют поверхности связанные с развитием курумового и каменно-глетчерного процесса во время двух последних холодных климатических фаз. Длина языков грубого материала, выдвигавшегося вниз по долинам, достигала 6–10 км. Внешне эти поверхности сходны с моренными образованиями [21].

Голоценовые поверхности озерно-болотной и болотной аккумуляции рас-

пространены в пределах Зевинского базальтового плато и верхнем поясе массивного среднегорья. Распространение озер и болот в верхнем поясе гор обусловлено наличием глинистых кор выветривания, неравномерностью аккумуляции и распространением многолетнемерзлых грунтов, в пределах распространения которых, на участках разрушения мерзлоты возникли озера; на высотах более 1000 м – бугры морозного пучения высотой до 6–7 метров.

2.4 Проявления аномальных геологических процессов

По своему воздействию на геосистемы современные геологические процессы выступают как типичные, аномальные (экстремальные) и катастрофические.

Типичные процессы соответствуют среднемноголетним показателям и существенно не меняют условий функционирования природных и сопряженных с ними антропогенных компонентов геосистемы. Аномальные процессы вызывают критические, катастрофические – кризисные состояния геосистем. Аномальные геологические процессы вызывают значительное, но кратковременное отклонение от нормы хода природных процессов и частичное разрушение отдельных элементов геосистемы. При частом их повторении природные системы адаптируются к этим нагрузкам и быстро возвращаются к нормальному функционированию. Для антропогенных структур воздействие аномальных процессов сравнимо с катастрофическими. *Катастрофические процессы* воздействуют на геосистемы негативно, часто с физическим уничтожением отдельных компонентов ландшафта и полным нарушением внутренних связей в геосистемах.

Опасные геологические процессы (явления), это современные быстропротекающие геологические процессы и явления, наносящие значительный материальный урон и создающие угрозу для жизни людей. К ним относятся: склоново-гравитационные (оползни, обвалы, лавины); водно-эрозионные (наводнения, русловая эрозия, селевые потоки); процессы, связанные с подземными водами (подтопление, карст, суффозия, просадки поверхности), процессы, связанные с ветро-волновыми явлениями на акваториях (морская абразия, цунами, нагоны, переработка берегов водохранилищ); процессы криогенной группы (термокарст, морозное пучение грунтов, термоэрозия, солифлюкция, наледи); землетрясения, извержения вулканов и др.

Следы аномальных геологических процессов отчетливо фиксируются в геологическом строении территории, соответствующих формах рельефа и сопряженных с ними комплексах склоновых и долинных образований и сохраняются миллионы лет.

Эндогенные процессы, в первую очередь, проявляются в образовании разрывных структур. Считается, что они не являются быстродействующими, однако медленные (первые миллиметры в год), незаметные глазу, перемещения геологических блоков по разломам земной коры представляют серьезную угрозу для любых строительных объектов. Собственно сами зоны разломов, мощность (ширина) которых может, достигает десятков километров, заполнены перемещенной, достаточно непрочной массой, склонной к проседанию под действием силы тяжести, не являются надёжной основой для любых видов хозяйственной деятельности. Перемещения блоков горных пород происходят и в пре-

делах разрабатываемых месторождений, проявляясь в возникновении катастрофических ситуаций.

В кайнозое на территории Приморья эндогенные процессы проявились в движениях литосферных плит, прогибании одних территорий (впадина Японского моря и Ханкайская депрессия) и сводовых поднятиях других (Сихотэ-Алиня и Восточно-Маньчжурских гор), проявлениях вулканизма и землетрясений.

Скорость движения литосферных плит по данным Ю. Г. Гатинского [6], к востоку от системы разломов Тан-Лу от 10–15 до 35–40 мм/год. Здесь преобладают векторы смещения юго-восточного направления ($115\text{--}120^\circ$), северная и центральная части Японской дуги активно сдвигаются относительно Евразии к западу ($280\text{--}285^\circ$) со скоростью до 55 мм/год. Вектор движения геологических блоков литосферной плиты может не совпадать с главным вектором движения и кроме того может возникать эффект закручивания. Некоторые блоки в процессе горизонтального перемещения могут подниматься другие, компенсируя их подъем – опускаться.

Прогибание впадин окраинных морей и расширение их акватории, было вызвано погружением материковой части Восточной Азии. По мере прогибания впадины Японского моря и Ханкайского грабена, трансгрессии вод океана и втягивания Сихотэ-Алиня и Восточно-Маньчжурских гор в сводовое поднятие произошёл распад продольных речных долин, формирование поперечных структур и смещение к востоку их приводораздельных частей. Наиболее активно эти процессы происходили в окраинных частях гор.

Проявления вулканической активности на территории Приморья фиксируются, прежде всего, в грандиознейшем по масштабам извержении вулканов в позднем мелу сформировавших Сихотэ-Алинский вулканический пояс, протягивающийся на 1450 км вдоль побережья Японского моря и Татарского пролива (в Приморском крае более чем на 700 км) при ширине от 100 до 300 км и мощности вулканических пород, достигающей 4–5 км. В раннем палеогене возникали магмопроницаемые субширотные структуры проседания (Бикинская и Южно-Приморская), заполнявшиеся своеобразной вулканогенной молассой, вулканогенно-осадочными и терригенными отложениями, часто угленосными. Неогеновый этап вулканизма выразился выбросами колоссальных объемов вулканического пепла, трещинными излияниями базальтовых лав, заполнивших межгорные впадины и образовавших обширные базальтовые плато и столовые горы. В целом, тектонические движения и вулканизм в неогене обусловили основные черты современного рельефа Приморья.

Землетрясения. На территории Приморья и сопредельных районов юга Хабаровского края, Китая, Татарского пролива и Японского моря зарегистрировано порядка около 400 слабых ($1 < "M" < 5$) и сильных, ($7 < "M" < 9$), глубокофокусных и коровых землетрясений [Олейников]. Сегодня территория Приморья не причислена к сейсмоопасным зонам и на ней нет активных проявлений вулканизма. Однако считается, что на современном этапе она находится в фазе завершения спокойного цикла морфотектогенеза, который должен смениться фазой нового более мобильного, более сейсмоопасного цикла.

Проявления аномальных экзогенных процессов. Следы проявления аномальных экзогенных гидрометеорологических процессов сохраняются и наиболее чётко фиксируются в аккумулятивных образованиях рельефа.

Наводнения. Прохождение через территорию края тайфунов и циклонов, сопровождающихся сильными ветрами и обильными осадками, вызывают наводнения проявляющиеся в значительном затоплении местности в результате подъема воды в реке, озере или море. К числу аномальных относятся *выдающиеся* и *катастрофические* наводнения, которые охватывают целые речные бассейны. Они повторяются на юге Дальнего Востока примерно один раз в 15–20 лет. За последние 30 лет в Приморье произошло 18 наводнений, из них 2 катастрофических (1989, 2000), 4 больших (1979, 1984, 1990, 1994).

Наиболее сильным для бассейнов большинства рек Приморья считается катастрофическое наводнение 1989 г. Высота паводка в долине р. Кривая (правый приток р. Киевка) в 5 км от устья составила 5,4 м над меженным уровнем, в долине р. Киевка более 6 м. Паводок 1989 г. самый значительный за последние 35 лет. С прохождением этого паводка связано вскрытие русловых каналов, которые не испытывали размыва в течение последнего тысячелетия [3].

По характеру наводнений реки Приморья, можно разделить на следующие группы: 1) реки с частыми и продолжительными наводнениями, но с относительно плавным и нерезко выраженным гидрографом паводка; 2) реки с относительно редкими и короткими, но бурными наводнениями и с резко выраженным гидрографом; 3) реки, занимающие по типу наводнений промежуточное место между двумя первыми. Объединив бассейны рек этих групп выделяем области с преобладающими типами наводнений.

К числу рек первого типа относится Уссури. Наводнения на ней возникают от разливов образующих ее рек Уссури, Павловка, Журавлёвка, Арсеньевка и крупнейших притоков Большая Уссурка и Бикин [3]. Река Уссури подвержена особо мощным и частым наводнениям с места впадения в нее р. Журавлёвка и до устья. К первому типу следует отнести реки, впадающие в озеро Ханка. Это р. Илистая, где в равнинной части бассейна вследствие малого уклона, большой извилистости русла неделями длятся наводнения неразрушительного характера. С большой повторяемостью катастрофические наводнения наблюдаются на реках, впадающих в западную часть оз. Ханка. На продолжительность паводков здесь оказывает большое влияние малая пропускная способность русел. Даже небольшие дожди в верхнем течении этих рек, протекающих по равнинной и заболоченной местности, вызывают значительные разливы в низовьях. Иногда затоплению приустьевых участков пойм способствуют ветровые нагоны воды из оз. Ханка.

Ко второму типу рек относятся верховья рек Уссури, Большая Уссурка, Дальняя, Тигринка, Арму, Малиновка, Журавлёвка и Арсеньевка. Наводнения здесь относительно редки, но бурные, продолжаются недолго.

К третьему типу рек относятся правые притоки р. Уссури в своих средних и нижних течениях, реки впадающие в зал. Петра Великого и реки восточного склона Сихотэ-Алиня. Каждый из них имеет свои особенности.

Большая Уссурка в силу перистой формы бассейна выходит из берегов только при особо мощных ливнях, но амплитуды уровней велики. В низовьях наводнение носит длительный характер (более двух недель), особенно при наличии подпора со стороны р. Усури.

В низовьях Арсеньевки (у села Яковлевка) возможна длительность наводнений (несколько недель). Подъем воды проходит интенсивно (несколько сантиметров в час). Скорость добега паводочной волны от Анучино до Бельцово – около 100 км/сут.

В реках, впадающих в зал. Петра Великого наводнения частые, подъемы воды быстрые, но продолжительность наводнений незначительная, а скорости передвижения пика паводка вниз по реке у большинства рек определяются часами.

В реках восточного склона Сихотэ-Алиня наводнения довольно часты, быстротечны и разрушительны, вследствие значительного продольного уклона рек на всем их протяжении.

Проявления селевых процессов. Непосредственных наблюдений за селевыми потоками в Приморье не проводилось, хотя имеются отдельные сведения о прохождении грязекаменных и наносоводных потоков ливневого происхождения.

Селевые отложения описывает Вяткин А.И. в бассейне р. Маргаритовка, а Короткий А. М [3] – в истоках р. Оуми после прохождения серии сильнейших циклонов над севером Приморья в 1981 г. Проявления селевых процессов установлены также в отложениях, среднечетвертичной и позднечетвертичной эпох плейстоцена, слагающих долины рек Приморья [3].

Проллювиально-селевые отложения. Селеподобные накопления, представленные щебнисто-глыбовыми и валунно-глыбовыми разностями с песчанистыми глинами и суглинками, известны в разрезах 10–12– и 15–20-метровых террас, широко распространенных в долинах малых и средних рек Сихотэ-Алиня и Восточно-Маньчжурских гор. Время их образования совпадает со вторым среднечетвертичным (220 тыс.л.н.) и позднечетвертичным (65 тыс.л.н.) похолоданиями. Этот тип разреза характерен для террас в областях мелкогорного и низкогорного рельефа Приморья [3]. Значительная часть селевых отложений, описанных в бассейнах рек Сихотэ-Алиня и Черногорья, обычно приурочена к водотокам III–IV порядка. По своим структурно-литологическим признакам, пространственному положению и масштабам проявления они более близки к типичным селево-пролювиальным отложениям, а в отдельных случаях – к земляным глетчерам (фации оплывания и оползания).

Селевые отложения речных террас возникшие в условиях теплого климата в начале среднего плейстоцена ($470 \pm 1,5$ тыс. л.н.) установлены в среднем течении р. Киевка и в долинах ее правых притоков. К ним отнесен мощный, перемытый горизонт гранитных глыб и валунов (до 1,5–2,0 м в диаметре). Эти отложения также характерны для низкопорядковой речной сети. Тип разреза с селевыми отложениями среднечетвертичных и позднечетвертичных террас, прежде всего, характерен для областей мелкогорного и низкогорного рельефа Приморья.

Наледи сильно влияющие на состояние долинных ландшафтов, имеют на территории Приморья достаточно широкое распространение. Влияние наледоб-

разования и наледей на ландшафты и их компоненты проявляется многопланово:

- на рельеф – активизация склоновых процессов в весенне-летнее время, усиление физического выветривания грунтов в «приналедных» полосах, возникновение солифлюкционного смещения грунтов на нижеприлежащих линейных полосах, появление новообразований на участках наледных полей в форме травяных кочек и туфуров;

- на водотоки – регулирование стока весной и в начале лета;

- на растительность – изреживание и замена лесных сообществ редколесьем и травяно-болотными фитоценозами в подгольцовой зоне, широколиственных сообществ мелколиственными в речных долинах и т.д.;

- на структуру ландшафта в целом – образование наледных полей;

- на прибрежные геосистемы проявляется в интенсификации абразионно-аккумулятивных процессов во время формирования наледей зимой и их весеннего разрушения.

Изменение природных геосистем наледными процессами происходит значительно быстрее под воздействием человеческой деятельности (прокладка дорог, вырубка леса на больших площадях, строительство мостов через ручьи и реки, регулировка стока рек, создание промышленных предприятий и поселков). Антропогенный пресс на ландшафты в районах нового освоения часто приводит к их существенным (вплоть до полной смены природного облика) трансформациям.

Учитывая различный характер наледообразования и физико-географические условия, территория Приморского края может быть разделена на четыре основных района: Западно-Приморский, Центральный горный район, Восточно-Приморский район, Южно-Приморский район [3].

Оползни. Различают природные оползневые явления, развивающиеся на крутых склонах гор, речных долин, на берегах озер, водохранилищ и морей, а также техногенные оползни, являющиеся следствием деятельности человека. Первые вызваны естественными причинами: локальными сильными дождями, абразией речных и морских берегов, землетрясениями. Техногенные оползневые процессы возникают на бортах крупных карьеров, создаваемых для открытой разработки месторождений полезных ископаемых, на бортах отвалов и на склонах сопки в пределах населенных пунктов (города Владивосток, Находка, Дальнегорск) в процессе разработки карьеров или в процессе возведения хозяйственных объектов (строительство жилых домов, прокладка дорог).

Природные оползни на территории края получили преобладающее развитие на площадях распространения платобазальтов. Ограничивающим фактором их развития здесь являются большая мощность базальтов и отсутствие подстилающих их кор выветривания.

На юге Приморья оползни приурочены к краевой части Шуфанского и Шкотовского плато. Оползни приурочены к бортам рек, прорезающих плато на полную мощность. Часто оползневые участки сопряжены друг с другом и образуют оползневой склон, который может достигать 8–10 км по простиранию и до 3–4 км в ширину. Стенки отрыва образуют в рельефе крутой (60–70°) уступ высотой до 100 м, часто уступ дугообразного простирания, образующего оползневой цирк.

Такие же оползни наблюдаются на северо-западе Приморья в бассейне реки Алчан и правых притоков реки Тахало.

В горной стране Сихотэ-Алинь наибольшее распространение оползни получили в краевых частях базальтовых плато в бассейнах рек Зевы, Килоу, Ады (левый приток Бикина), Кабаньей, Единки, Самарги, в верхнем течении Кемы, Таёжной, на южном склоне г. Солонцовой. Оползневые тела имеют небольшие размеры. В бассейне верхнего течения р. Кемы, при интенсивном врезе водотоков, амплитуда смещения оползней достигает 500 м, степень отрыва иногда до 100 м.

Время образования природных оползней – эпоха усиления эрозионных процессов и сильных землетрясений связанных с воздыманием Сихотэ-Алиня, в верхнем плейстоцене – начале голоцена. В настоящее время обвалы и осыпи в Центральном Сихотэ-Алине и на Восточно-Маньчжурском нагорье наблюдаются в небольших масштабах, что связано с относительно слабой активностью эрозионных процессов, умеренной крутизной и сильной залесенностью склонов.

В настоящее время усиливается роль инженерной деятельности человека, в формировании условий провоцирующих возникновение оползней. При этом оползанию могут подвергаться как борта карьеров, так и отвалов. Оползни бортов и уступов Лучегорского бурогоугольного разреза наблюдались на протяжении всего периода его строительства и эксплуатации. Основной причиной сползания откосов здесь является склонность глинистых пород к разуплотнению под действием увлажнения. Плотные тугопластичные глины разреза при увлажнении переходят в мягко- и текучепластичное состояние.

Оползни в форме оплывин встречаются и на отвалах отработанных и рекультивированных угольных разрезов, когда отвалы отсыпают на пологий обводненный склон, как это произошло на разрезе «Павловка-І».

Оползания бортов выемок или склонов, даже с небольшим уклоном, наблюдаются при строительстве. Примерами могут служить: образование оползня на строительной площадке ТЭЦ в районе г. Уссурийска, произошедшего в 1989 г. и существенно осложнившего условия строительства; оползание склона в результате подрезки его основания при прокладке дороги, произошедшего там же; оползание склона на площадку судоремонтного завода в Находке в 1991 г. Тело оползня, деформировав складское помещение, вышло на территорию Рыбного порта.

Абразия. В береговой зоне одним из основных экзогенных геологических процессов является абразия. Процессы абразии приводит к отступлению берега. Скорость отступления зависит от многих факторов и редко бывает постоянной. В южном Приморье современная скорость отступления берегов (в голоцене) оценивается в 20–150 м. за 100 лет.

Вдоль берегов Приморья узкой полосой простирается морская терраса, в пределах которой глубина моря достигает 10–30 м. У мысов, полуостровов и островов ширина абразионной террасы составляет 100–500 м, с многочисленными останцами (кекурами, надводными и подводными камнями). В бухтах и заливах ширина аккумулятивной террасы достигает – 1–2 км, а на северных побережьях Амурского и Уссурийского заливов до 10 км.

Шельф (материковая отмель) имеет преобладающую ширину 20–25 км. Его бровка, расположенная на глубине 125–250 м, у юго-восточного берега Приморья проходит почти по прямой линии под азимутом около 35°. На широте 42° 40' она принимает субширотное (90°) направление и у государственной границы СССР и КНДР подходит очень близко к берегу.

Подводная морская терраса образовалась в результате трансгрессии моря и абразии побережья с одновременным заполнением морскими осадками затопленных речных долин. Геологическое строение шельфа по геофизическим данным не отличается от прилегающих участков материка. Временами шельф частично или полностью осушался, о чем свидетельствуют остатки древних береговых валов на глубинах 120–140 м и ложбины относительной глубиной до 60 м [15].

Берега озер и водохранилищ также подвержены абразии. Переработка берегов озер и водохранилищ имеет общую природу с абразией на морском побережье, отличаясь лишь масштабом явлений. Скорость отступления берегов на Артемовском водохранилище за четыре года составила 0,4–4,1 м с тенденцией нарастания из года в год.

Абразия постоянно угрожает портовым, причальным и другим береговым сооружениям. Борьба с ней ведется путем берегоукрепительных работ.

Цунами. Согласно имеющимся историческим данным за последнее столетие достоверно известно четыре случая появления значительных волн цунами у северо-западного побережья Японского моря, которые достигли побережья Приморского края и сопровождалась разрушениями. Более ранние данные отсутствуют [Полякова, 2012]. О двух первых случаях проявления разрушительных волн имеются краткие сведения: в 1907 г. в бух. Де-Кастри волной цунами затоплено судно. В 1940 г. в районе пос. Гроссевичи в долинах рек были смыты стога сена [22]. Два последних случая проявления разрушительных цунами (1983, 1993 гг.) освещены в работах [23, 24]. Подъем уровня моря при цунами 1983 г. наблюдался до 5–7 м, а в 1993 г. – до 4,34 м. Катастрофические цунами у побережья Приморья – довольно редкое явление, однако проведенные наблюдения позволяют сделать вывод:

1. У открытого побережья Приморского края и в зал. Петра Великого, вдоль восточного побережья п-ова Муравьев-Амурский наблюдаются цунами разрушительной силы.

2. При цунамигенных землетрясениях с эпицентром, расположенным вблизи побережья Японии, волны доходят до отдельных пунктов побережья Приморского края уже через 26 мин.

3. При выполнении всех проектных и строительных работ в цунамигенных зонах побережья Японского моря необходимо учитывать периодическое появление здесь разрушительных волн «цунами».

3 ГИС проект «Опасные геологические процессы» – «PrimOGP»

Проект создан на основе базы данных картографической информации включающей цифровую топографическую основу и специализированные покрытия, отражающие тематические слои картографической (рельеф, реки, озё-

ра, дороги, морскую акваторию, города и поселения края, административное деление,) и геологической информации (геологическое строение и структурно-геологическое районирование территории, угольные бассейны и месторождения, геоморфологическое районирование, районирование по видам проявления кайнозойских и современных экзогенных геологических процессов и др.). Топографическая основа и тематические слои сопровождаются атрибутивными таблицами, которые раскрывают сущность выделенных на карте элементов.

ГИС-проект «PrimOGP» создан средствами ГИС ArcView 3.2 (3.3) с использованием слоёв цифровой топоосновы масштаба 1:1 000 000 (номенклатурные листы L-52, 53, 54, K-52, 53), подготовленной картфабрикой ФГУП ВСЕГЕИ и слоёв электронного варианта карты геологической основы (Государственная геологическая карта Российской Федерации. Дальневосточная серия. Листы L-52 (Пограничный), 53 (оз. Ханка),; K-52 (Владивосток), 53 (Находка). Масштаб 1:000 000) составленной ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУГП «Приморская ПСЭ» в 2006 году на основе геологической карты М 1:000 000. Авторы: В.И. Рыбалко, Г.С. Белянский, М.Д. Рязанцева, В.А. Бажанов. Цифровая модель составлена ФГУГП «Приморская ПСЭ» средствами ArcView 3.2 Составители цифровой модели: В.В. Гладкова, А.С. Нестерова, А.М. Гукалова, Г.А. Лебедева, А.С. Костин.

Основой проекта являются «Виды» содержащиеся в двух открывающихся комплексом ГИС ArcView 3.2 (3.3) и ArcGIS 9.3 (и выше) файлах **Эндоген.apr** и **Экзоген.apr**. В файле *Эндоген.apr* собраны виды, отражающие геологическое структурно-тектоническое строение территории, закономерности размещения угольных месторождений и проявления эндогенных геологических процессов (схема проявления четвертичной тектоники, схема инструментальных и палеоземлетрясений). Кроме того здесь же имеются «виды» Административное деление территории Приморского края (масштаб 1:1 000 000) и схема расположения листов Дальневосточного Региона (листов масштаба 1:1 000 000). В файле *Экзоген.apr* собраны виды, отражающие проявления экзогенных процессов (1. Схема распространения кор выветривания; 2. Схема распространения процессов эрозии и аккумуляции; 3. Схема распространения осыпей, обвалов, оползней и селей; схема распространения процессов заболачивания) и геоморфологического районирования территории Приморья. Виды проявлений экзогенных процессов созданы для отображения на листах А4 и А3 (масштаб компонок 1:4 000 000 и 2 500 000).

Виды созданы в географической системе координат (проекция – поперечная Меркатора, эллипсоид – Красовского, главный меридиан – 135°, сдвиг по оси X – 500 000 м).

Для окончательного оформления схем и зарамочного оформления, а так же получения твёрдых копий и просмотра полученных схем созданы компоновки. В отчётном варианте во всех компоновках связь с отображаемыми в них видами разорвана, поэтому изменения, произведённые в видах, – в компоновках, отображаться не будут. Однако если все изменённые виды привести в состояние полного отображения (нажать кнопку «полный экстенд»), а в компо-

новках включить «динамическую связь с видами», то все изменения в компонентах отобразятся.

3.1 Работа с ГИС-проектом

Инсталляция. Как таковой инсталляции не требуется, достаточно скопировать папку проекта PrimOGP содержащую базу графической информации (директорию ArcView с папками и файлами картографической информации) в корневой каталог диска C:. Для нормальной работы с ГИС проектом на компьютере должны быть установлены следующие программные продукты: ArcView 3.2 (3.3), EasyTrace–7.99, графический редактор (Adobe Photoshop или Gimp–8) просмотрщик растровых файлов (ACDSee или стандартная программа Windows для просмотра изображений и факсов) и MS Office 2007 или более поздняя версия. В составе MS Office 2007 необходимы программы: Word, Excel, Access.

Запуск и работа с проектом. Для начала работы необходимо открыть один из запускающихся файлов *Эндоген.apr* и *Экзоген.apr*. Запуск осуществляется обычным способом, двойным нажатием левой кнопки манипулятора «Мышь». При этом отобразится последний вид сохранённого проекта. Например, административное деление территории Приморского края (рисунок 3.1). Другие созданные виды можно посмотреть, открывая их по порядку.

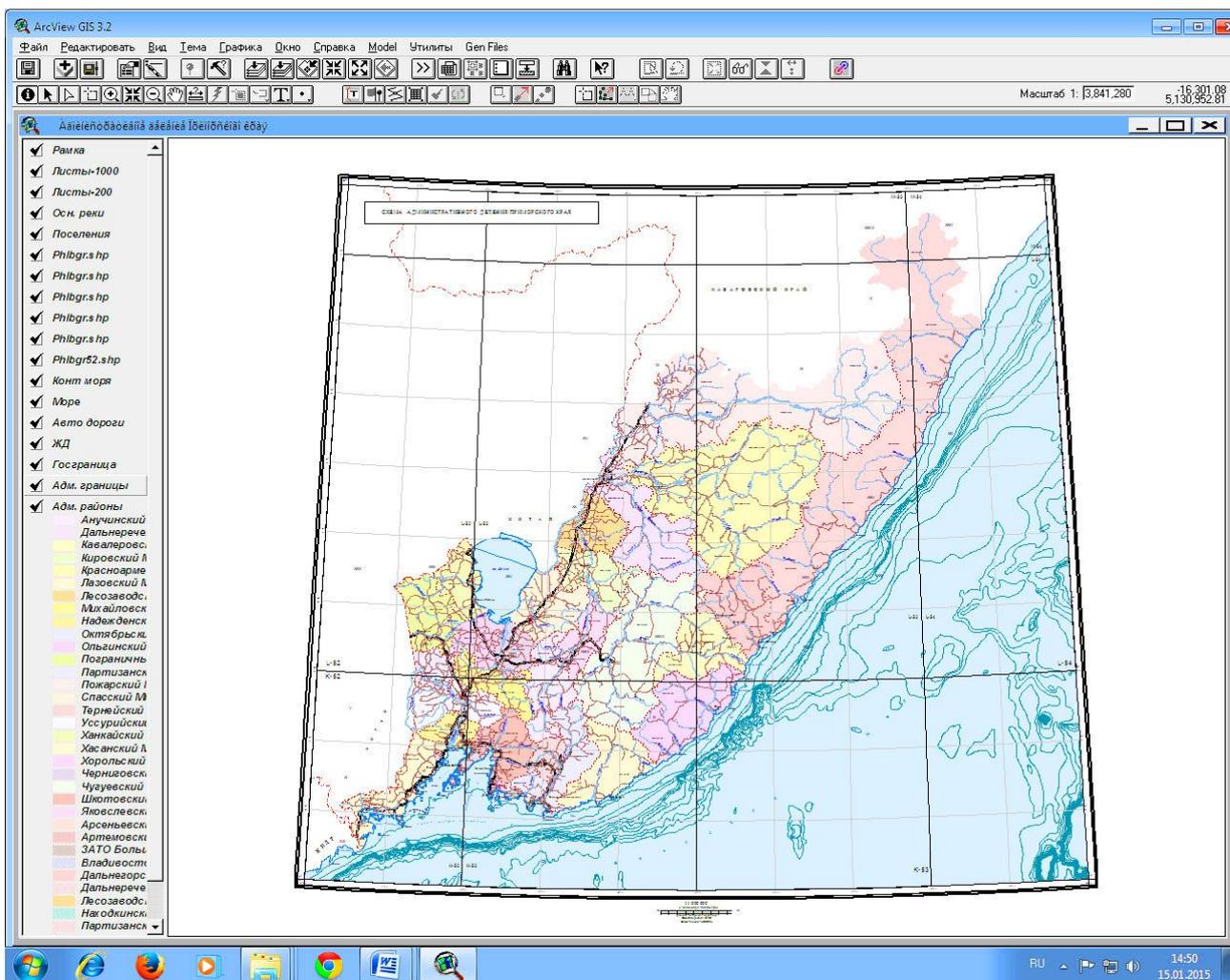


Рисунок 3.1 – Первый вид ГИС проекта «PrimOGP»

В среде программы ArcView работают ГИС проекты (имя.apr); комплекс EasyTrace необходим для создания новых покрытий и привязки растровой графики; печать полученных графических материалов (после экспорта из ArcView в векторно-растровый формат *.eps и «доводки» до печатных кондиций в графическом редакторе) лучше всего производить из графического редактора например Adobe Photoshop. Просматривать полученные материалы следует в просмотрщиках графических файлов; офисное приложение (например MS Office) необходимо для написания сопровождающих текстов и создания и преобразования в текстовый формат (*.txt) загружаемых в ГИС проект табличной информации.

Для удобства работы с проектом ГИС наиболее актуальные кнопки и инструменты, употребляющиеся при поиске и отображении необходимой пользователю информации, сгруппированы в небольшие кластеры,

В ГИС проекте можно посмотреть девять схем (4 – проявления эндогенных процессов и 5 – проявления экзогенных процессов двух вариантах для печати на листах формата А3 и А4) проявлений геологических процессов:

1. – геолого-структурного районирования территории Приморья;
2. – расположения угольных месторождений;
3. – размещения инструментальных и палеоземлетрясений;
4. – районирования по факторам проявления четвертичной тектоники;
5. – морфоструктурного районирования;
6. – распространения кор выветривания;
- 7 – проявления процессов эрозии и аккумуляции;
8. – распространения осыпей обвалов оползней и селей;
9. – распространения процессов заболачивания.

Конечно надо бы в проект добавить схемы районирования территории Приморского края по аномальным метеорологическим, геокриологическим и антропогенным проявлениям и экологической обстановке в крае.

Требования к системе

Предполагается, что базой будет пользоваться достаточно опытный пользователь, умеющий работать в программных комплексах ГИС, с графическим редактором и стандартным Офисным пакетом. Предпочтителен 32 битный системный блок и 32 битная операционная система MS Windows не выше седьмой версии. С 64 битной версией MS Windows воспользоваться ГИС проектом и работать с ним смогут только пользователи при поддержке системного администратора.

4 Особенности геоэлектрических моделей опасных геологических процессов

4.1 Краткие сведения о геоэлектрических моделях

Для методов сопротивлений и вызванной поляризации на характер поведения электрического поля оказывают влияние структурно-вещественные комплексы с разными удельными электрическими сопротивлениями и поляризуемостями горных пород. Таковую физическую модель, когда характер распределения параметров среды изучается по профилю в электроразведке, называют геоэлектриче-

ским разрезом. С учетом современных представлений о физико-геологических моделях (ФГМ) под геоэлектрическими моделями (ГЭМ) среды понимаем формализованное и обобщенное представление о геоэлектрических комплексах горных пород (протяженные и выклинивающиеся слои, локальные неоднородности, разные формы) и вызываемых ими аномальных электрических полях.

Понятно, что геоэлектрические модели являются частными по сравнению с ФГМ. Имея геоэлектрическую модель можно перейти к геологическому и петрофизическому ее истолкованию с определением литологического состава и структуры горных пород, физико-механических и водно-физических параметров на основании связей физических свойств с геологическими факторами.

Ранее в качестве ГЭМ обычно использовалась одномерная модель, состоящая из конечного числа однородных горизонтальных слоёв с различными удельными сопротивлениями и поляризуемостями. Однако реальные геологические срезы, кроме пологих слоёв, имеют наклонные и крутопадающие горизонты, локальные тела различной формы и другие объекты. Среди горизонтально-неоднородных моделей различают двумерные и трёхмерные.

Типичными двумерными моделями являются полупространства с протяжёнными крутопадающими пластами или клиновидными объектами. Удельные сопротивления и поляризуемости полупространства являются функциями горизонтальной "x" и вертикальной "z" координат. В практике геоэлектрические разрезы близки к двумерным в районах с линейно вытянутыми геологическими структурами, где свойства горных пород по другой горизонтальной координате "y" практически не меняются.

Трёхмерными моделями с изменением электрических параметров по осям x, y, z наиболее полно описывают геологические ситуации, встречающиеся в практике электроразведочных работ. Простыми примерами таких моделей могут служить сфероид вращения (шар) в однородном полупространстве или полусфер у поверхности раздела земля-воздух. В реальных условиях ими можно аппроксимировать некоторые объекты простой формы.

В каждом конкретном случае при решении геологических задач, процесс формирования геоэлектрических моделей имеет свои особенности, но неизменным остаётся повышение эффективности применяемых методов на основе базового принципа электроразведки – принципа моделирования изучаемых полей. Этот принцип позволяет определить рациональную систему наблюдений, оценить разрешающую способность, критерии выделения изучаемых объектов и, в конечном счёте, повысить информативность методов.

4.2 Общая характеристика ОГП на месторождениях Приморского края

Современные опасные геологические процессы (ОГП) оказывают непосредственное влияние на безопасное функционирование горнодобывающих предприятий, строительство различных объектов при освоении месторождений и на геоэкологическую обстановку территории в целом. Надо отметить, что эта территория отличается от других регионов России чрезвычайно сложным геологическим строением и широким развитием ОГП. Такие условия связаны, в первую очередь, с положением региона в зоне сочленения Азиатского контин-

нента с жёстким кристаллическим основанием и Тихоокеанского подвижного пояса с активными тектоническими процессами.

На территории края происходят неотектонические движения, когда отдельные блоки литосферы перемещаются по разрывным нарушениям. В последние годы при проведении геологических съёмок установлены зоны молодых разрывных дислокаций, которые в условиях муссонного климата в течение одного – двух сезонов обычно перерабатываются в эрозионные формы рельефа.

Геодинамическая опасность связана с высвобождением энергии и перемещением масс вещественных комплексов. Вещественные комплексы перемещаются в результате воздействия эндо-, экзо- и техногенных процессов. Техногенное воздействие при разработке месторождений на эколого-геоморфологические системы при определённых условиях может ускорить (замедлить) функционирование не только экзолитодинамических, но и эндодинамических потоков.

Сведений о современных вертикальных и горизонтальных движениях земной коры и возникновении в результате этих движений тектонических разрывов мало и они противоречивы. Молодые (четвертичные) тектонические нарушения на месторождениях наблюдались немногими исследователями. Так А.К. Седых [25] описал на Шкотовском и Павловском бурогольных месторождениях многочисленные разрывы вплоть до голоцена.

Согласно составленной нами схеме районирования Приморья по факторам проявления четвертичной тектоники (рисунок 2.1) по количеству проявлений и активизированных тектонических нарушений и палеосейсмодислокаций в крае выделено три зоны: Ханкайская (западная), Сихотэ-Алинская (восточная) и между ними Центральная.

В Ханкайской зоне преобладают структуры опускания, где четвертичное осадконакопление унаследовано с палеогена – неогена. Структуры зоны представлены кайнозойскими впадинами в виде рифтогенных впадин – грабенов и остаточных блоков между ними, заметно активизированных горстов в плейстоцене – голоцене. Тектонические нарушения оказывали непосредственное влияние на формирование угленосных депрессий. В пределах Центральной зоны отмечены многочисленные разломы северо-восточного простирания. Кайнозойские угленосные впадины выделены на всей территории зоны. Все они представляют собой протяжённые ассиметричные структуры в виде грабенов, приуроченных к крупным разломам типа сбросо-сдвигов северо-восточного простирания. Впадины выполнены комплексом палеоген-неогеновых угленосных отложений мощностью до 1800 м, залегающих с резким угловым и стратиграфическим несогласием на разновозрастных фундаментах. На площади месторождений выделено множество тектонических нарушений.

Угленосные депрессии Сихотэ-Алинской зоны сложены мезозойскими и кайнозойскими осадочными образованиями и здесь представлен мезокайнозойский магматизм и вулканизм. На территории зоны установлены многочисленные разломы северо-восточного и субширотного направлений. Угленосные впадины приурочены к зонам субширотных разломов (раздвигов).

В рудных районах Приморья тектонические нарушения во многих случа-

ях являются рудоконтролирующими и рудовмещающими. Поэтому выявлению и прослеживанию границ разломов, зон трещиноватости и дробления горных пород уделяется особое внимание. Однако при разработке месторождений эти нарушения существенно осложняют добычу полезных ископаемых.

В Ханкайской зоне имеются месторождения и множество проявлений различных металлов, в том числе олова, свинца, цинка, меди и золота. Особое место здесь занимает Вознесенский рудный район с месторождениями плавикового шпата. Месторождения этого района локализируются в карбонатных породах в эндоконтактах небольших интрузий Вознесенских гранитов.

Оруденения Центральной зоны, в основном, связаны со скарнами. В пределах зоны выделено множество разломов и связанных с ними несколько рудоперспективных площадей, перспективных на свинцовоцинковое оруденение скарнового и стратиформного типов.

В Сихотэ-Алинской зоне выделены ряд рудоносных структур, тектоническое развитие которых завершилось в позднем мезозое. Геосинклинальные комплексы представлены здесь, главным образом, терригенными и терригенно-карбонатными формациями. Профилирующими являются месторождения олова, свинца, цинка и вольфрама.

Наличие крупных региональных разрывов типа сбросо-сдвигов и надвигов, мозаичное купольно-блоковое тектоническое строение, открытые неустойчиво равновесные флюидные системы и близость к Курильской зоне субдукции определяют потенциально высокую сейсмическую активность региона. Эндогенные процессы, происходящие в пределах выделенных тектонических зон, непосредственно влияют на проявление экзогенных процессов, в том числе опасных на месторождениях полезных ископаемых. К экзогенным процессам относятся: выветривание, денудация, аккумуляция, абразия, заболачивание, оползни, карст, криогенез, солифлюкция. Все они в разной степени влияют на разработку месторождений.

При освоении месторождений, из выше перечисленных, наибольшую опасность представляют оползневые явления, которые часто наблюдаются на бортах разрезов. На территории края насчитываются сотни различных по величине и времени заложения карьеров и разрезов. Они имеют глубину от десятков до первых сотен метров. В процессе разработки нарушается устойчивость естественного залегания пород на бортах за счёт их подрезки или повышенного увлажнения ослабленных слоёв.

Согласно классификации оползневых массивов [26] с учётом их происхождения и горно-геологических условий оползни на разрезах Приморья относятся, как правило, к неблагоприятной второй группе. Оползневые модели этой группы включают наклонно-слоистые и мультислойные среды с различными вариантами. Обычно поверхности скольжения в глинистых отложениях полностью или частично совпадают с границами ослабленных слоёв и поэтому существенно влияют на устойчивость откосов.

Основными факторами, влияющими на устойчивость бортов разреза, как известно [26], являются особые инженерно-геологические, гидрогеологические

и физико-географические условия. Инженерно-геологические факторы напрямую связаны со сложным структурно-тектоническим строением месторождений, особым составом глин и характеристиками сопротивления сдвигу. Гидрогеологические факторы определяются, главным образом, изменением напряжённого состояния оползневого массива под влиянием поверхностных и подземных вод и снижением прочности пород, склонных к разуплотнению. К физико-географическим факторам относят Приморские климатические условия, орографию разреза и прилегающих к нему территорий.

Известны случаи катастрофического характера для людей, строений и механизмов на разрезах. Так в 1969 году произошёл крупный оползень борта Ретиховского бурогоугольного разреза. Блок длиной 500 м, шириной до 300 м и площадью около 150 тыс. кв. метров переместился за 2–3 минуты. Объём оползневых накоплений составил 4,7 млн. куб.м.

На протяжении всего периода строительства и эксплуатации самого крупного в Приморье Лучегорского бурогоугольного разреза наблюдались оползни бортов, значительно осложняющие проведение добычных работ. Разрез характеризуется очень сложными инженерно-геологическими условиями, что связано с условиями залегания пород, относительно малой их прочностью и слабыми контактами между слоями, наличием водообильных песчано-галечниковых аллювиальных отложений и напорных вод нижележащих водоносных горизонтов.

Наиболее опасные условия отмечаются на участках с наклонным ($\geq 25^\circ$) залеганием вмещающих пород и угольных пластов в сторону выработанного пространства, наличием в кровле и почве угольных пластов, слабых пластичных пропластков аргиллитов и углистых аргиллитов, а также мягкопластичных глин среди четвертичных отложений с низкими характеристиками сопротивления сдвигу, высокими напорами подземных вод из нижележащих не вскрытых групп угольных пластов. Крупный оползень наблюдался в начале февраля 2004 года. Он захватил борт протяжённостью около 400 м по бровке уступа. Величина смещения пород достигла 450 метров. Объём оползневых накоплений составил 2,5 млн. куб.м. Решающее влияние на возникновение оползневого процесса оказали высокие напоры угольного водоносного горизонта.

На основании проведённого анализа установлено, что при разработке угольных месторождений наибольшее влияние оказывают тектонические нарушения и оползневые явления. Погрешности или отсутствие информации о расположении разломов резко осложняют добычу угля. Оползневые явления приводят к прекращению добычи угля на оползневых участках. Поэтому формирование геоэлектрических моделей проведены для выделенных процессов.

4.3 Геоэлектрические модели ОГП на площади угольных депрессий и месторождений

В пределах угольных депрессий при поисковых и разведочных работах электроразведка в модификации электрических зондирований (ВЭЗ) применялась для определения глубины залегания пород фундамента, расположенных разрывных нарушений, структурно-вещественных комплексов и угольных пластов с различными удельными сопротивлениями. Конечным результатом работ

было составление геоэлектрических разрезов с последующим построением структурно-тектонических схем.

Выявление и прослеживание разрывных нарушений производилось, как правило, по изменению глубин залегания угольных пластов. Другим критерием установления нарушений явилось наличие зон трещиноватости и дробления пород, которые определялись как участки повышенной проводимости.

Исследования структурно-тектонического строения оползневых откосов на угольных разрезах проводились только в последнее десятилетие с помощью электрической томографии [27]. Основное внимание уделялось глинам, которые в естественном состоянии были тугопластичными с удельными сопротивлениями 15–30 Ом·м. При обильном водонасыщении в процессе техногенного воздействия эти глины переходили в мягкопластичное или даже текучепластичное состояние и их сопротивление снижалось до 10 Ом·м.

На основании переинтерпретации большого количества кривых ВЭЗ (более 10 000) и данных каротажа скважин (около 1000) составлены концептуальные фоновые геоэлектрические модели на полную мощность осадочного чехла для выделенных структурных зон.

Геоэлектрические модели угольных впадин Ханкайской зоны представлены обширными блоками, в пределах которых выделены слоистые среды типа КНА ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5$) или QHA ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4 < \rho_5$). Пониженными сопротивлениями характеризуются площадные коры выветривания дресвяно-суглинистого типа (ρ_1 и ρ_2) мощностью до 70 метров, а низкими ($\rho_3 = 20\text{--}40$ Ом·м) песчано-глинистые отложения позднемелового, реже палеогенового возраста.

Геоэлектрические модели Центральной зоны, в целом, представлены типом НКН. Наиболее проводящими отложениями с удельным сопротивлением 10–30 Ом·м являются глины четвертичного возраста и неогена, а ниже по разрезу аргиллиты и алевролиты палеогена, вмещающие пласты бурого угля.

Геометрические модели Сихотэ-Алинской зоны, в пределах изученных блоков представлены типами КНА или KQH ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4 < \rho_5$).

Наиболее изученной является Верхне-Бикинская впадина Ханкайской зоны, где четвертичные и неогеновые отложения (горизонты ρ_1 и ρ_2) представлены песками, суглинками, алевролитами, аргиллитами, галечниками и характеризуются удельными сопротивлениями в диапазоне 20–300 Ом·м. Ниже по разрезу выделяются терригенные и вулканогенные породы мела и палеогена (ρ_3 и ρ_4), которые сложены аргиллитами, алевролитами, бурыми углями. Наиболее проводящими из них являются аргиллиты и алевролиты.

В качестве типового рассмотрим геоэлектрические модели разрывных нарушений и оползневых откосов на площади Лучегорского буроугольного разреза, расположенного в пределах Бикинской депрессии. Эта депрессия представляет собой приразломную структуру с крутым юго-западным крылом. Разрывные нарушения разбивают поле угольной депрессии на ряд тектонических блоков. Вертикальные амплитуды сбросов достигают 200 метров.

Гидрогеологические условия месторождения характеризуются наличием большого количества водоносных горизонтов, причём нижележащие водонос-

ные горизонты обладают напором. Питание их происходит за счёт атмосферных осадков в местах выходов угольных пластов под четвертичные отложения. Подземные воды по составу характеризуются как гидрокарбонатно-натриевые с низким содержанием сульфатов, хлоридов и кальция. Для них сухой остаток увеличивается с глубиной, в верхней части разреза он составляет 1,2 г/л, в основании оползней воды становятся сульфатно-кальциево-натриевыми и сухой остаток для них достигает 2,9 г/л.

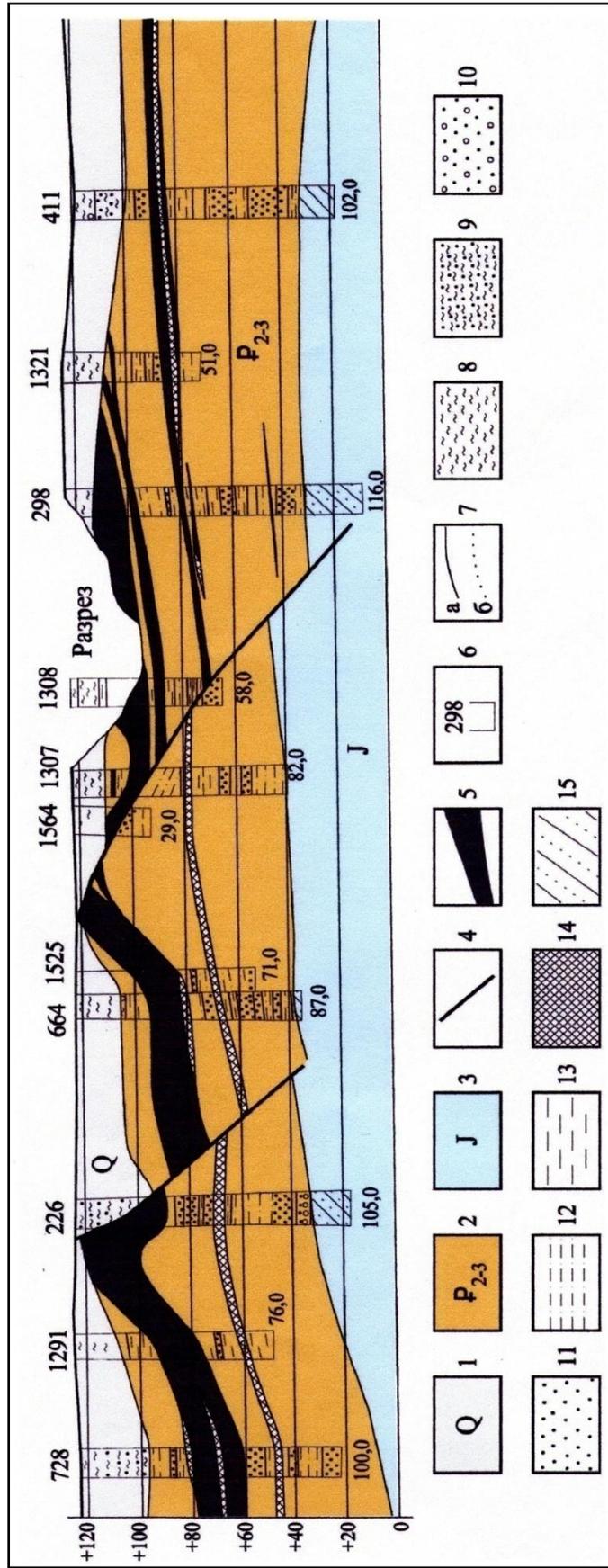
На рисунке 4.1 приведён геологический разрез с тектоническими нарушениями в угленосных отложениях. На основании анализа геолого-геофизических материалов на площади разреза составлены фоновые геоэлектрические модели. С тектоническими нарушениями. В качестве примера на рисунке 4.2 показаны только две геоэлектрические модели. Как видно, границы разрыва могут быть параллельными и непараллельными. Тектонические нарушения представлены плоскостью разлома либо дроблёнными породами с глиной и супесями мощностью до 4 метров.

Наибольшую оползневую опасность на Лучегорском разрезе представляют участки с наклонным залеганием слоёв и наличием ослабленных слоёв и пропластков представленных глинами, аргиллитами и углистыми аргиллитами. На рисунке 4.3 представлен схематический литологический разрез по одному из профилей, показывающий общее строение восточной мульды Бикинской угленосной впадины.

На основании выполненных исследований с учётом данных пяти инженерно-геологических скважин вдоль бровки борта на одном из участков разреза «Лучегорский», сформированы четыре фоновые геоэлектрические модели, которые стали основой для моделирования электрических полей, установления закономерностей и определения критериев выделения ослабленных слоёв.

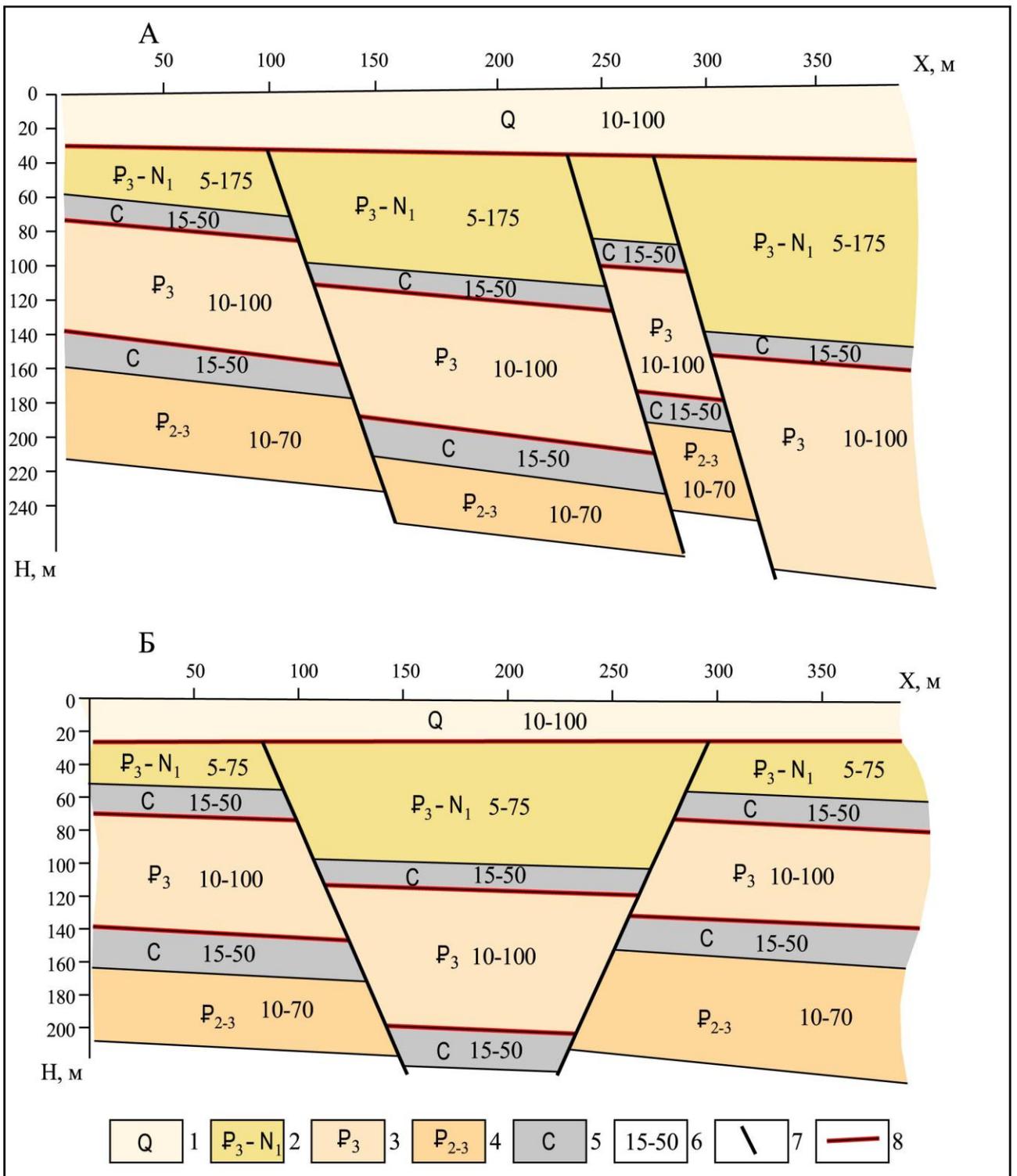
Первая модель (I) характеризуется отсутствием неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления горных пород. Эта модель расположена за пределами оползневого массива в междуречье р. Вороны и р. Ольги и приведена для сравнения. Верхняя часть разреза представлена слоистым комплексом с углами падения слоёв до 5° . Комплекс включает суглинки и глины полутвёрдой и тугопластичной консистенции, ненабухающими и непросадочными. В естественном залегании отложения находятся в переуплотнённом состоянии. Мощность отложений составляет 20 м и более, удельные сопротивления изменяются в диапазоне 12–25 Ом·м. Ниже залегают палеоген-неогеновые угленосные образования, которые представлены чередованием алевролитов и аргиллитов с редкими прослоями угля. Уголь имеет сопротивления 20–50 Ом·м, алевролит – 15–30 Ом·м, аргиллит – 10–25 Ом·м. Пластичные слои отсутствуют. В большинстве случаев геоэлектрическая модель представлена типом Н.

Вторая модель (II) включает естественную зону ослабления, которая связана с сильнонабухающими и пучинистыми глинами третичного возраста. Глины мягкопластичные до текучепластичных мощностью до 7 м, удельное сопротивление составляет 7–12 Ом·м. Сверху эти глины перекрываются четвертичными аллювиальными глинами и суглинками мощностью от 10 до 25 м.



1. – Четвертичные отложения; 2. – Отложения нижней угленосной толщи (верхний эоцен); 3. – фундамент – олистостромовая толща (триас-юра); 4. – Разрывные нарушения; 5. – Пласты бурых углей; 6. – Проекция на разрез колонковой скважины и её номер; 7. – Границы между разновозрастными отложениями; а – внутри кайнозойских отложений, б – фундамента; 8–15 литологические разновидности: 8. – глины; 9. – глинисто-песчаные отложения; 10. – Песчано-галечниковые отложения; 11. – песчаники; 12. – алевропесчаники; 13. – алевролиты; 14. – углистые алевролиты; 15. – песчаники мезозойские.

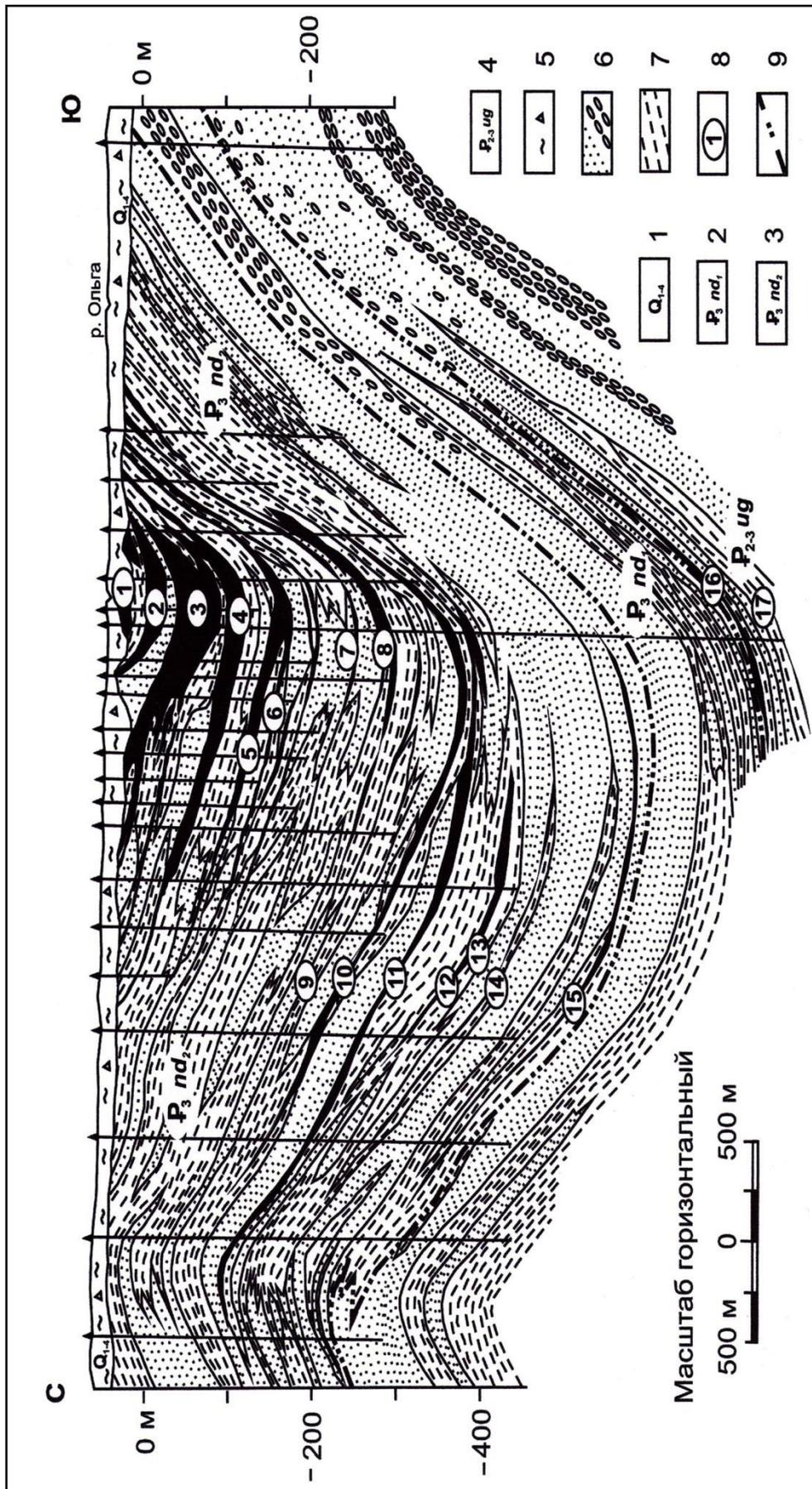
Рисунок 4.1 – Тектонические нарушения на площади Лучегорского разреза



А – границы разрыва почти параллельные, Б – границы не параллельные.

1. – четвертичные отложения, почвенно-растительный слой, глины, суглинки, супеси, включения песка и гравия; 2. верхняя угленосная толща, вмещающие отложения: аргиллиты, алевролиты, углистые алевролиты, песчаники; 3. – безугольная толща: алевролиты, песчаники, аргиллиты; 4. – нижняя угленосная толща: алевролиты, аргиллиты, углистые аргиллиты, песчаники; 5. – группы пластов бурых углей; 6. – диапазоны изменения удельных электрических сопротивлений горных пород; 7. – тектонические нарушения; 8. – границы пород угленосных комплексов.

Рисунок 4.2 – Фоновые геоэлектрические модели угленосной толщи с тектоническими нарушениями



1-4 – стратиграфические подразделения: 1 – нерасчленённые четвертичные отложения; 2-3 – непродуктивная (2) и верхняя угленосная (3) подсистемы надежденской свиты; 4 – угловская угленосная свита. 5-7 – литологические типы отложений: 5 – рыхлые четвертичные отложения, 6 – руслово-пойменные, 7 – озёрно-болотные. 8 – название группы слоёв, 9 – границы свит.

Рисунок 4.3 – Схематический литологический разрез юго-восточной мулды (участок №1) Бухарского бурогольного месторождения (составлен по материалам Ш.Г. Ульмябаева, Г.П. Кукаренко и др., 1971 г)

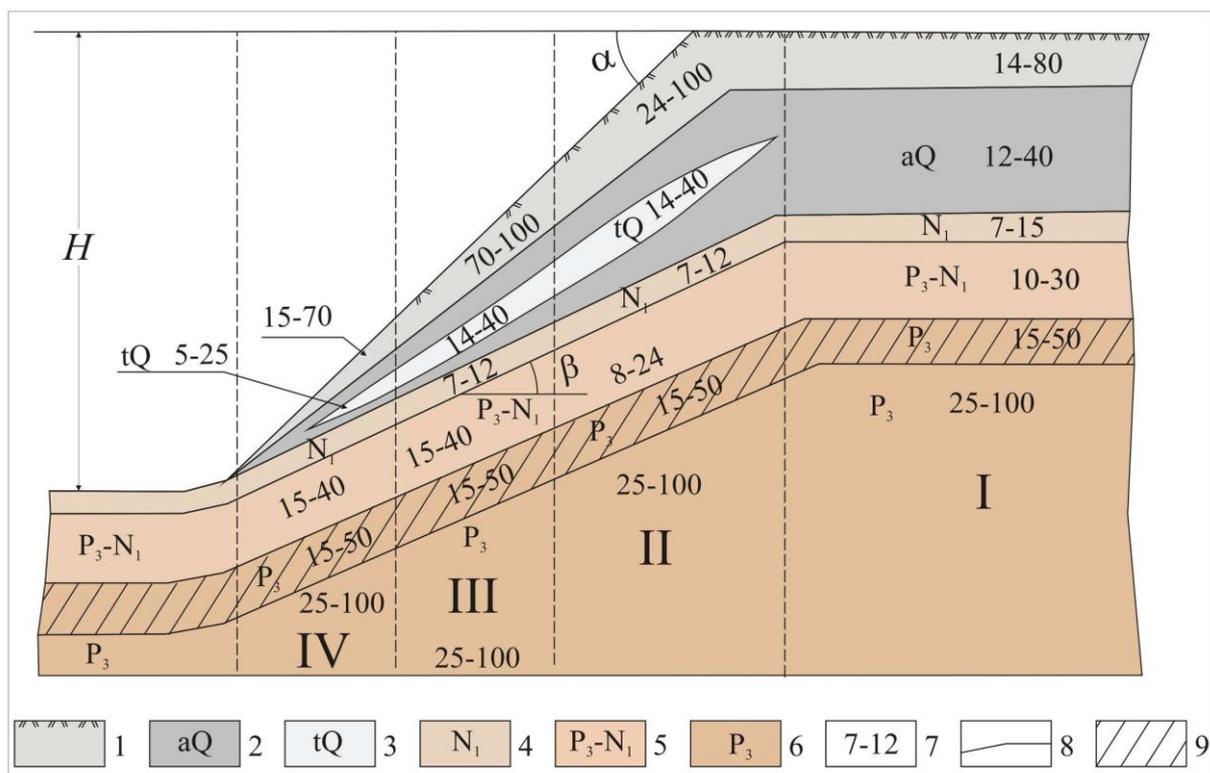
Суглинки и глины имеют полутвёрдую и тугопластичную консистенцию, при увлажнении переходящую в мягкопластичную. Удельные сопротивления глин и суглинков изменяются в диапазоне 14–22 Ом·м, а мягкопластичные разности – 10–15 Ом·м. Толща глин и суглинков подстилается аргиллитоподобными суглинками палеогенового возраста. Отложения имеют повышенные удельные сопротивления с величинами до 40 Ом·м. В целом с учётом поверхностных отложений геоэлектрическая модель представлена типами КН либо QH.

Третья модель (III) расположена вдоль борта разреза (бровки уступа) на протяжении 2–3 км и шириною 300 м. Геологическая среда имеет естественную зону ослабления пород и поверхность скольжения полностью совпадает с этой зоной. Зона представлена аллювиальными ниже-среднечетвертичными песчано-гравийными либо песчано-глинистыми отложениями, вскрытых в процессе вскрышных работ и залегающих до отработки в основании аллювиальной глинистой толщи. Песчано-гравийные отложения содержат грубообломочный, слабоокатанный очень рыхлый материал. В эти отложения происходит активная разгрузка подземных вод угленосного водоносного горизонта. Мощность отложений составляет первые метры. Ослабленный слой залегает на угленосной толще, включающей угольные пласты и вмещающие породы (песчаники, аргиллиты, алевролиты). Удельные электрические сопротивления обводнённых пород ниже 12 Ом·м, угленосная толща имеет сопротивление в 2–3 больше, а проводимость техногенных отложений изменяется в широких пределах в зависимости от их обводнённости.

Четвёртая модель (IV) приурочена к нижней части борта разреза Верхний глинистый слой здесь практически везде снят. Геологическая среда представлена палеогеновыми угленосными отложениями, перекрытыми техногенными образованиями, которые представлены породами вскрыши, перемятыми в процессе оползневых явлений. Литологический состав техногенного комплекса характеризуется видоизменёнными до рыхлых песчаных, песчано-гравийных смесей, супесей, суглинков с обломками пород различного генезиса. Отмечаются останцы и обломки аргиллитов и алевролитов различных размеров, разрушающиеся по напластованию на мелкие кусочки размером до 1,0 см. Мощность техногенных образований достигает 7 м. Весь комплекс представляет собой искусственную зону ослабления пород. Поверхность скольжения оползневого массива почти полностью совпадает с подошвой комплекса.

На основе составленных фоновых моделей была создана типовая геоэлектрическая модель разреза техногенного оползневого массива (рисунок 4.4) Луче-горского разреза Бикинского месторождения.

Геоэлектрическая модель Реттиховского бурогоугольного месторождения представлена (рисунок 4.5) толщей аргиллитов, алевролитов, глин и песчаников (10–100 Ом·м) с пластами бурого угля (120–200 Ом·м), лежащей на коре выветривания фундамента (200–500 Ом·м). Площадь разреза разбита тектоническими нарушениями на несколько блоков. В геоэлектрическом разрезе Реттиховской впадины минимальными значениями удельных сопротивлений (в Ом·м) характеризуются угленосные отложения: аргиллиты (10–25), алевролиты (10–32), углистые аргиллиты (10–40), алевролиты с прослоями песчаников (40–100) и четвертичные: глины (10–30).



H – высота борта карьера; α – угол наклона борта; β – угол наклона границ слоёв и угольных пластов ($15\text{--}30^\circ$).

Условные обозначения к рисунку 4.4:

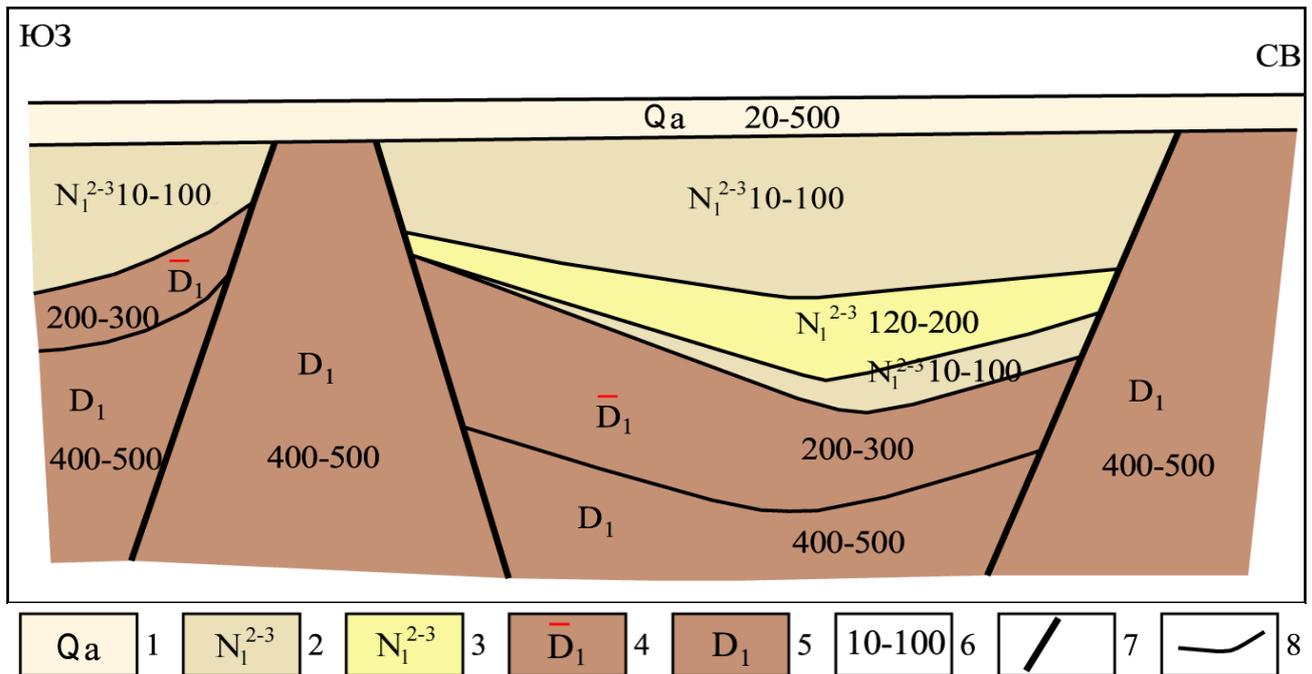
- 1 – почвенно-растительный слой местами насыпной грунт и оползневые накопления; 2 – аллювиальные четвертичные отложения; 3 – техногенные современные отложения; 4 – неогеновые отложения; 5 – неоген-палеогеновые отложения; 6 – Палеогеновые отложения; 7 – диапазон изменения удельных электрических сопротивлений в Ом.м; 8 – границы литологических слоёв; 9 – пласт бурого угля.

Рисунок 4.4 – Типовая геоэлектрическая модель разреза техногенного оползневой массы (разрез Лучегорский-I)

Геоэлектрический разрез месторождения можно представить слоистой толщей низкого ($10\text{--}100$ Ом.м) удельного сопротивления лежащей на коре выветривания фундамента характеризующегося более высокими ($200\text{--}300$ Ом.м) сопротивлениями, содержащей в своём составе пачки (слои) с пластами углей ($120\text{--}200$ Ом.м) ограниченной от толщи пород фундамента характеризующихся ещё более высокими сопротивлениями ($400\text{--}500$ Ом.м) с тектоническими нарушениями.

Максимальными – делювиальные отложения, аллювиальные пески с галькой ($20\text{--}500$), кора выветривания коренных пород ($200\text{--}300$); образования фундамента: толща переслаивающихся сланцев, песчаников, алевролитов ($400\text{--}500$); другие породы угленосной толщи (песчаники тонкозернистые, бурый уголь) выделяются промежуточными значениями.

В центральной части разрез характеризуется типами НКН, НА, КНА, на юго-западе НА, АА, на северо-востоке и на участке клиновидной структуры выделяются два слоя (ρ_1 и ρ_2). Разрывные нарушения на разрезе представлены крутопадающими границами.



1 – почвенно-растительный слой аллювиально-делювальные отложения четвертичного возраста; 2 – позднее-миоценовые-среднемиоценовые отложения: пески, глины, аргиллиты, алевролиты, туфоалевролиты; 3 – группы пластов бурого угля; 4 – кора выветривания девонских отложений: песчаников, андезитов и их туфов; 5 – породы фундамента: песчаники, андезиты и их туфы; 6 – диапазон изменения удельных электрических сопротивлений горных пород; 7 – тектонические нарушения; 8 – границы пород рудных комплексов.

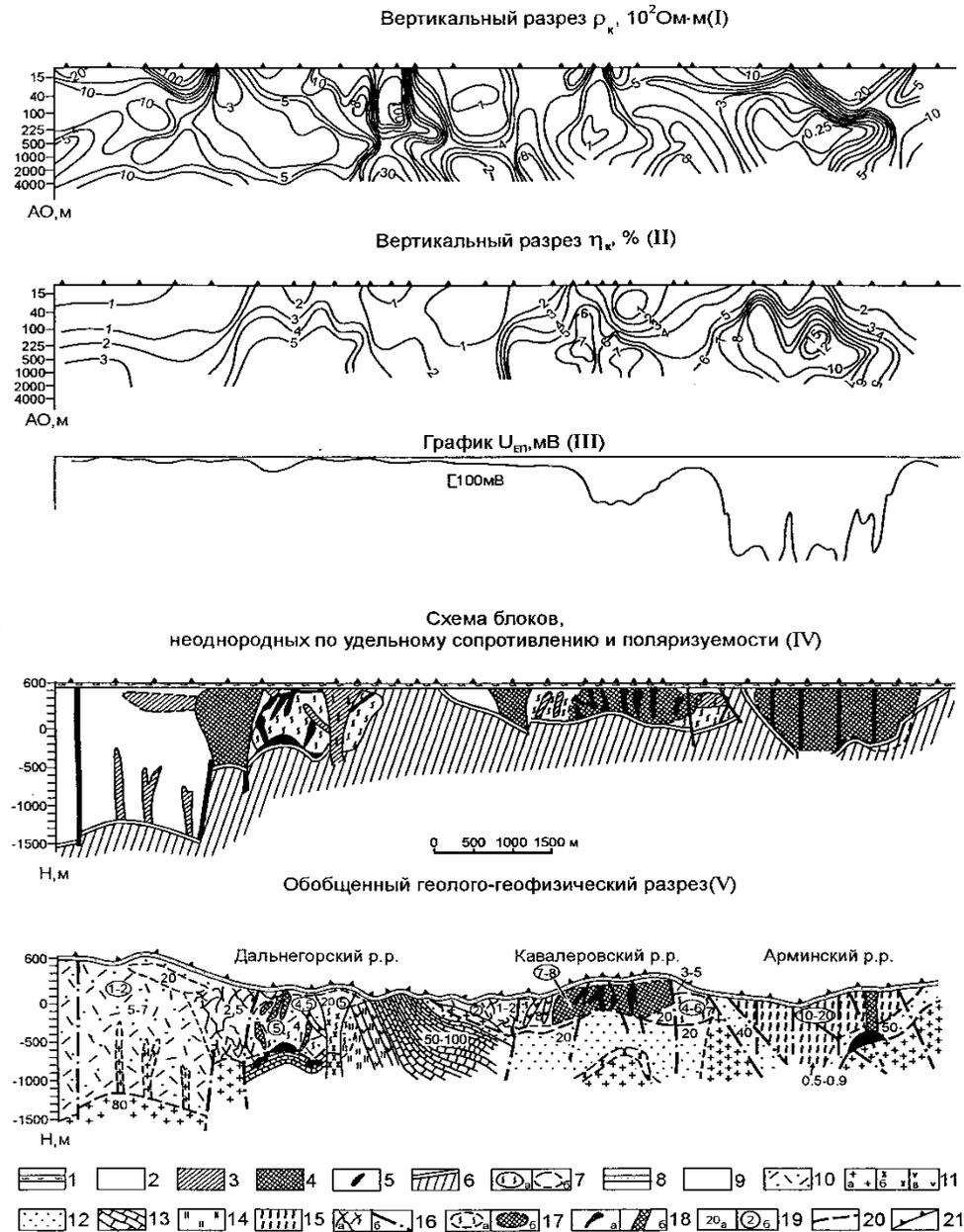
Рисунок 4.5 – Фоновая геоэлектрическая модель Ретиховского бурогоугольного месторождения по одному из профилей

В процессе поисков и разведки рудных месторождений особое место занимали электроразведочные методы, поскольку они были надёжным индикатором рудоперспективных структур. Это связано с тем, что контрастные различия электрических свойств дают возможность изучать рудоконтролирующие элементы рудных регионов: разнонаправленные разломы, гранитоидные интрузии, зоны трещиноватости и дробления.

Для исследований применялись методы: естественного электрического поля (ЕП), различные модификации электропрофилирования (ЭП, ЭП ВП), зондирования (ВЭЗ, ВЭЗ ВП), переходных процессов (МПП), полномасштабного заряда (ММЗ), электрический каротаж скважин (КС).

В результате этих исследований была создана концепция геоэлектрической модели (ГЭМ) основных рудных районов Приморья, в которой сложнопостроенный геоэлектрический разрез рудных полей месторождений представлен пологими, наклонными и крутопадающими горизонтами с локальными включениями различной формы (рисунок 4.6).

Их сочетания образуют множество типов, отличающихся друг от друга как своим внутренним строением и физическими свойствами, так и характером измеряемого электрического поля в зависимости от типа установки и её расположения относительно электрических неоднородностей, а также соотношением геометрических параметров разрезов и установки.



Условные обозначения:

Для I–III: изолинии ρ_k , соответствуют: 0,25, 0,5 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 70, 100, 150 ед. ($10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); η_k в %, в интервале 1–8% проведены через 1%, более 8% – соответствуют 10, 12, 15 %.

Для IV: блоки, пласты, неоднородные по сопротивлению (ρ): 1 – с широким диапазоном изменения удельного сопротивления; 2 – с фоновыми значениями удельного сопротивления ($500\text{--}700 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 3 – с относительно повышенным удельным сопротивлением; 4 – с относительно пониженным удельным сопротивлением; 5 – локальные зоны проводимости; 6 – высокоомный опорный горизонт различной геологической природы; 7 – блоки с аномальной поляризуемостью: а – умеренной ($\eta = 4\text{--}6 \%$), б – высокой ($\eta > 6 \%$).

Для V: 8 – аллювиально-делювиальные отложения; 9 – терригенная толща алевролитов и песчаников; 10 – вулканогенные образования преимущественно кислого состава; 11 – интрузии кислого (а), среднего (б) и основного–ультраосновного состава (в); 12 – биотититы, роговики; 13 – известняки; 14 – кремнистые породы; 15 – углисто-графитизированная толща; 16 – зоны трещиноватости (а), разломы (б); 17 – зоны сульфидной минерализации: преимущественно вкрапленной (а), преимущественно прожилково-вкрапленной (б); 18 – рудные тела (а), минерализованные зоны дробления (б); 19 – удельное электрическое сопротивление в $10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (а), поляризуемость в % (б); 20 – кровля высокоомного опорного горизонта; 21 – точки ВЭЗ ВП.

Рисунок 4.6– Геоэлектрическая модель основных рудных районов Приморья.

Модель отражает относительно верхнюю часть геологического разреза рудных районов (до 2 км) и содержит три геоэлектрических комплекса, неравнозначных по мощности и степени изученности, различающихся характером дифференцированности по удельному электрическому сопротивлению и поляризуемости.

На месторождениях тектонические нарушения, в большинстве случаев, отождествляются с вертикально-протяжёнными локальными неоднородностями, крутопадающими границами блоков, областями трещиноватости и дробления горных пород. Зоны дробления, как правило, выделяются линейными зонами повышенной проводимости. Для их прослеживания обычно применяли методы электропрофилирования и электрического зондирования. Наибольшая разрешающая способность при их обнаружении отмечалась у несимметричных установок дипольного (ДП) и трёхэлектродного (ТП) профилирования, комбинированных и точечных зондирований (КЭЗ и ТЭЗ).

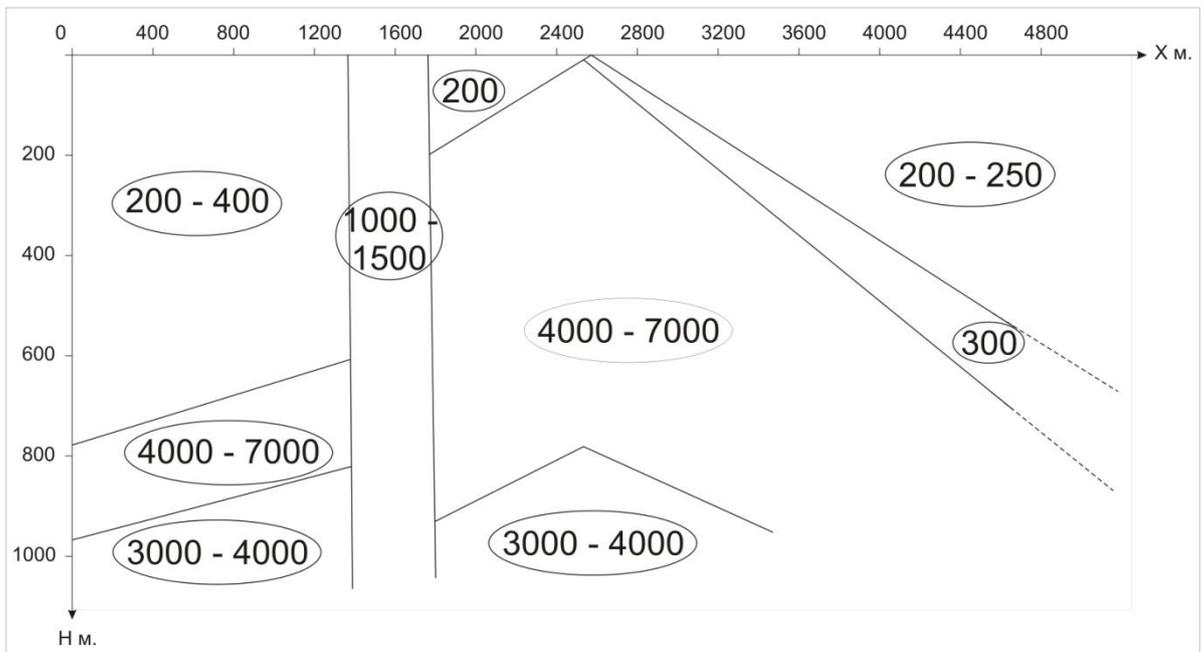
Все известные полиметаллические месторождения Дальнегорского района связаны с кровлей осадочных пород высокого сопротивления, представленных известняками. Выступа блоков этих пород, пронизанных тектоническими нарушениями, прослеживаются методами КЭЗ и КЭЗ ВП, причём решающая роль при изучении кровли и, соответственно участков сульфидной минерализации принадлежит последнему методу. Кратко рассмотрим формирование фоновых геоэлектрических моделей на двух участках этого района.

Участок Николаевский расположен в пределах юго-восточного фланга одноимённого глубокозалегающего полиметаллического месторождения. В среднем комплексе основным элементом сложной блоково-глыбовой тектоники является антиклинальная складка, в ядре которой выходят известняки и кремнисто-терригенные породы верхнего триаса. Крылья складки несогласно перекрываются вулканитами верхнего мела. Осадочные породы и эффузивные образования прорываются многочисленными интрузиями и дайковыми телами диоритов, гранитов и гранит-порфиров. Полиметаллическое оруденение приурочено к контакту известняков и перекрывающих их эффузивов в непосредственной близости от интрузии диоритового и гранит-порфирового составов.

На участке выполнены электрические зондирования комбинированными установками Шлюмберже (КЭЗ и КЭЗ ВП). В результате анализа и качественной интерпретации кривых зондирования, априорной геолого-геофизической информации на участке, а главное моделирования электрических полей с учётом установленных критериев выделения локальных объектов, наклонных и крутопадающих границ формировались фоновые геоэлектрические модели. На рисунке 4.7 приведена модель для опорного профиля на которой показаны предполагаемые границы и удельные электрические сопротивления объектов геоэлектрического разреза.

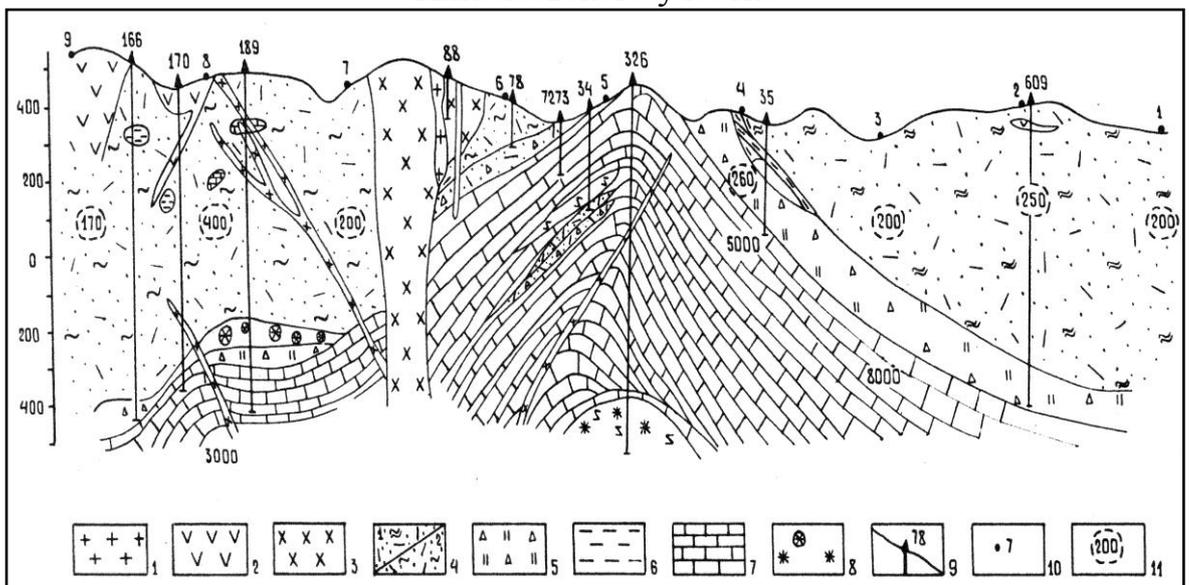
На основе интерактивного подбора геометрических и электрических параметров путём сравнения практических и теоретических кривых по фрагментам, построены геолого-геофизические разрезы, которые можно называть окончательными физико-геологическими моделями. На рисунке 4.8 приведён разрез по опорному профилю, где использована информация по десяти скважинам. В

центре разреза выделена антиклинальная структура известняков высокого сопротивления, ограниченная слева интрузией диоритов, а справа наклонным горизонтом вулканитов. Вмещающими породами являются туфы риолитов, включающие дайковые тела гранитов и андезитов. Рудные скарны высокой поляризуемости ($\eta > 20\%$) и низкого сопротивления ($\rho = 50-100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) выделяются в основании известняков и на контакте известняков и эффузивных пород.



1 – границы объектов, 2 – удельные электрические сопротивления (УЭС),
3 – поляризуемости пород.

Рисунок 4.7 – Фоновая геоэлектрическая модель опорного профиля Николаевского участка



1 – граниты, гранит-порфиры; 2 – андезиты; 3 – диориты; 4 – туфы риолитов брекчированные;
5 – брекчия кремнистая; 6 – алевролиты; 7 – известняки; 8 – скарны рудные геденбергитовые;
9 – скважины и их номера; 10 – точки ВЭС ВП; 11 – удельное электрическое сопротивление.

Рисунок 4.8 – Геолого-геофизический разрез опорного профиля Николаевского участка

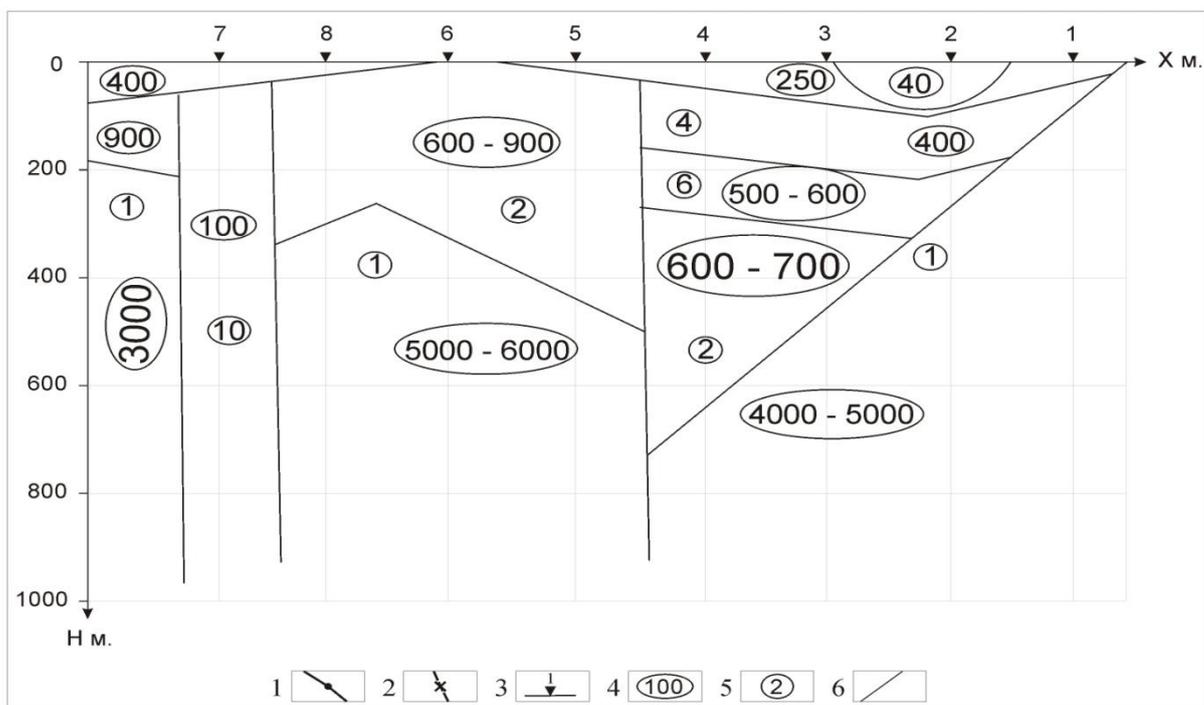
Участок Пронинский также расположен в пределах Дальнегорского рудного района. Средний геоэлектрический комплекс сложен различными литологическими разновидностями вулканокластических пород и достигает мощности 600–800 метров. Он прорван дайками диоритов и осложнён тектоническими нарушениями и зонами дробления. В нижней части разреза залегает консолидированный осадочный фундамент, представленный алевролитами и песчаниками. Физические свойства горных пород изучены слабо. Удельные сопротивления вулкаников (700–900 Ом·м), пород фундамента (300–2900 Ом·м) перекрываются, что существенно осложняет задачу исследования разреза. На основании предварительной интерпретации данных методов ВЭЗ ВП и СГ ВП сделано предположение, что на границе вулкаников и фундамента залегает маломощная линза сульфидизированных пород с полиметаллической минерализацией.

В процессе формирования фоновых геоэлектрических моделей использовалась априорная информация о разрезе, анализ кривых зондирования и моделирование электрических полей с построением теоретических кривых кажущегося сопротивления и поляризуемости. Практические кривые имеют сложную форму, осложнённую изломами, аномальными градиентами и расхождениями на переходе меньшей приёмной линии на большую. Поэтому расчёты параметров поля производились для сред, включающих либо наклонные, либо крутопадающие границы, или локальные объекты на дневной поверхности.

Таким образом, при сравнении практических и теоретических кривых зондирования определялись однотипные блоки среды и кривые относящиеся к соответствующему блоку. Использование параметров поля двух методов повышают достоверность формирования моделей.

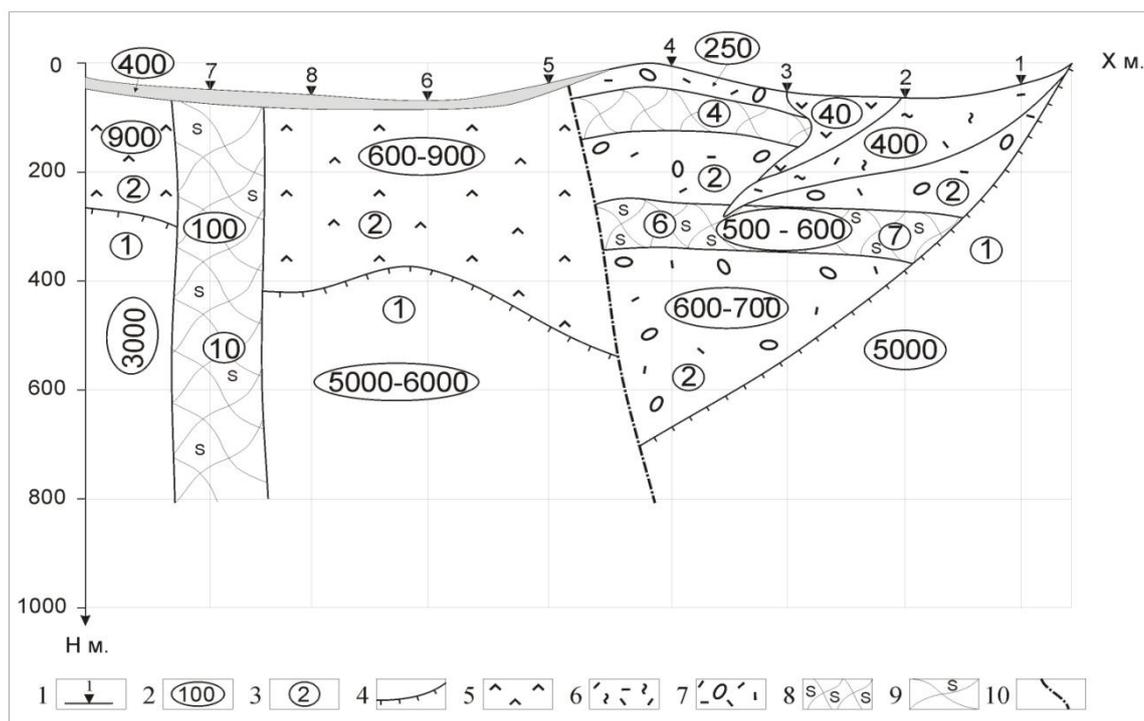
На рисунке 4.9 приведена фоновая модель по опорному профилю, где показаны границы, вертикальные горизонты и локальные тела. В результате количественной интерпретации данных в рамках однотипных блоков построены геоэлектрические разрезы с элементами литологического наполнения. Для выбранного профиля геоэлектрический разрез показан на рисунке 4.10.

На геоэлектрическом разрезе выделены разломы, положение различных комплексов пород, зоны сульфидной минерализации, четвертичные отложения и поверхностные неоднородности. Участок Августовский расположен вблизи Смирновского оловянно-полиметаллического месторождения. Он характеризуется сложным геологическим разрезом, включающим крутопадающие структурные комплексы, и резко пересечённым рельефом местности. Наиболее благоприятными условиями для локализации оруденения в этом районе считаются зоны Дождевого и Арсенопиритового разломов, в пределах которых размещены рудные тела Смирновского, Встречного и Южного месторождений. Зоны фиксируются понижением удельных сопротивлений до 200–300 Ом·м на фоне 1000–3000 Ом·м для вмещающих пород. На участке проведены работы методом ВЭЗ ВП на 20 профилях с расстоянием между ними 500 м, между точками на профиле – 250 м, а при детализации – 100 м. Применялись трёх и четырёх электродные установки Шлюмберже с максимальным разбросом – 2000 м.



1–3 – точки ВЭЗ, 4 – удельные электрические сопротивления (УЭС), 5 – поляризуемости пород, 6 – границы объектов.

Рисунок 4.9 – Фоновая геоэлектрическая модель по опорному профилю на участке Пронинском

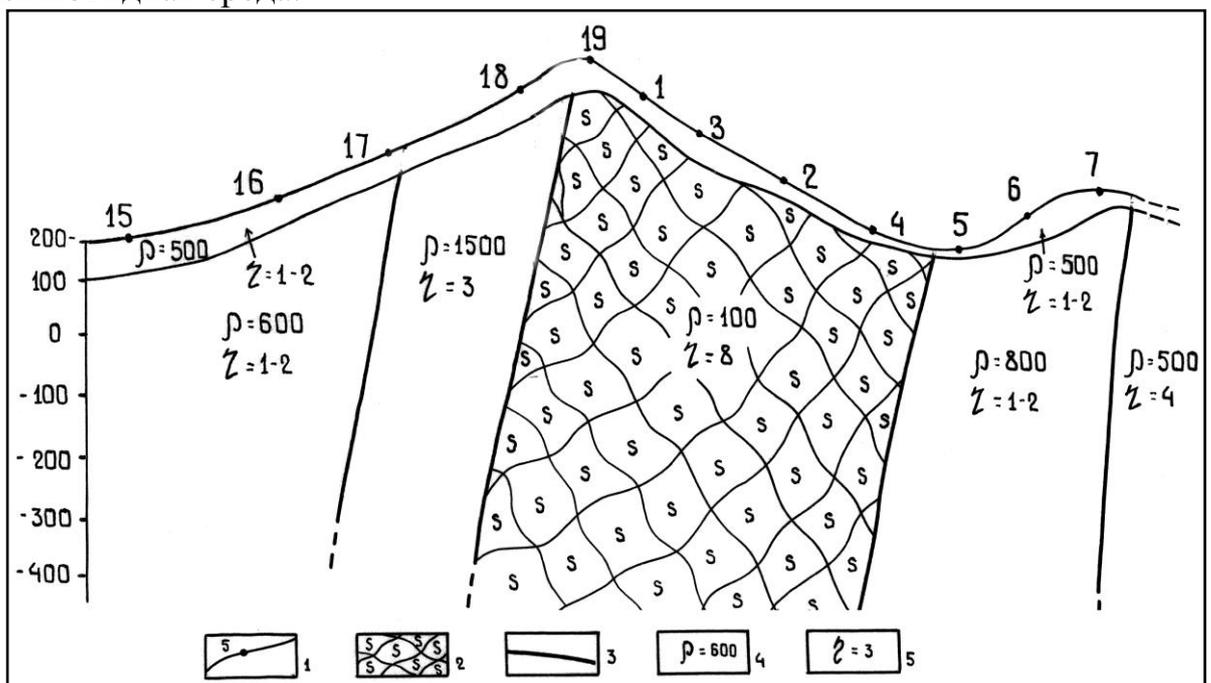


1 – удельные сопротивления и поляризуемости пород, 2 – области повышенной поляризуемости – предпочтительно зона трещиноватости, 3 – зона сульфидной минерализации, 4 – опорный электрический горизонт, 5 – тектоническое нарушение, 6–9 – эффузивные породы.

Рисунок 4.10 – Геолого-геофизический разрез по опорному профилю на участке Пронинском

На основе анализа априорной информации, кривых зондирования, данных экспресс-интерпретации и результатов моделирования электрических полей с учётом рельефа местности по профилям построены фоновые геоэлектрические модели. На разрезах отмечены примерное расположение только доминирующих элементов разреза: крутопадающих границ, блоков с аномально низкими сопротивлениями и высокими поляризуемостями, маломощных четвертичных отложений (наносов). Строение реальных геологических разрезов намного сложнее. В них присутствуют поверхностные и глубинные локальные неоднородности, сложные формы зон сульфидной минерализации, включения изверженных пород и подстилающий комплекс пород с высокими сопротивлениями и низкими поляризуемостями. По существу на фоновых разрезах выделены однотипные блоки, на поверхности которых эмпирическое поле формируется под влиянием доминирующих объектов.

На рисунке 4.11 приведён один из вариантов фоновой модели для опорного профиля. Здесь объектами являются блоки с крутопадающими границами, рельеф в виде «хребта» и «долины» с наклонными линиями поверхности и верхний слой «наносы». При моделировании электрических полей в пределах блоков использовалась вертикально-слоистая среда, а для рельефа и «наносов» – клиновидная среда.

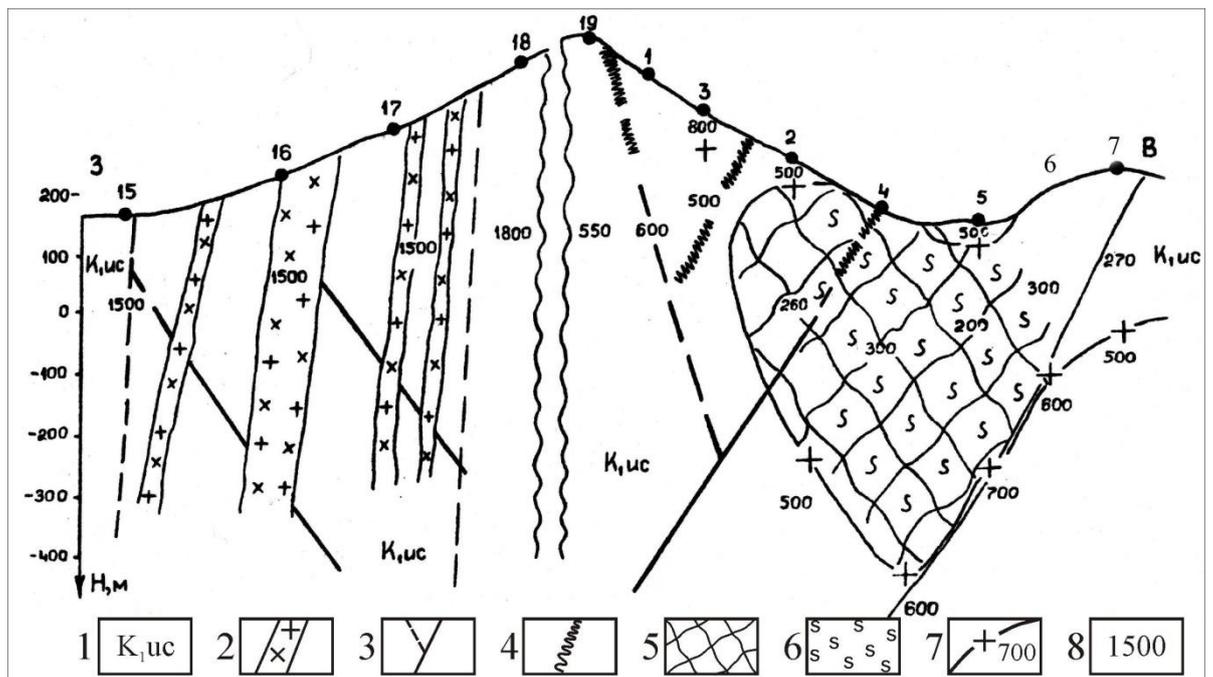


1 – граница поверхности с точками зондирования, 2 – блок сульфидной минерализации, 3 – граница блоков, 5 – поляризуемости пород.

Рисунок 4.11 – Фоновая геоэлектрическая модель по опорному профилю на участке Августовском

Количественная интерпретация кривых зондирования проводилась в интерактивном режиме по фрагментам, отражающим определённые элементы однотипных блоков. В процессе решения обратной задачи задавался широкий диапазон изложения физических и геометрических параметров. В результате интерпретации построены геоэлектрические разрезы, которые впоследствии

наполнялись геологическим содержанием (рисунок 4.12).



1 – эффузивные породы, 2 – дайки гранодиоритов, 3 – тектонические нарушения, 4–5 – области повышенной поляризуемости – предположительно зона трещиноватости, 6 – зона сульфидной минерализации, 7 – опорный электрический горизонт, 8 – удельные сопротивления.

Рисунок 4.12 – Геоэлектрический разрез по опорному профилю на участке Августовском

5. Закономерности электрических полей над неоднородными средами

Исследуемые среды всегда трёхмерны. Но проводить анализ электрического поля и интерпретацию материалов в рамках трёхмерных моделей очень трудно и не всегда оправдано. В большинстве случаев геоэлектрический разрез при решении конкретных геологических задач достаточно аппроксимировать более простыми идеализированными моделями, обладающими меньшей размерностью. Поэтому в пределах модели выделяются её фрагменты (однотипные блоки), в которых доминируют либо полого наклонные или крутопадающие слои, либо локальные тела, либо поверхностные неоднородности.

Исходя из сформированных геоэлектрических моделей опасных геологических процессов, были выбраны идеализированные модели горизонтально-неоднородных сред, аппроксимирующие фрагменты (блоки) геоэлектрических разрезов ОГП. При этом реальные геоэлектрические модели представляем конечной совокупностью объектов – различно ориентированных слоёв и локальных неоднородностей с границами раздела, на которых происходит скачок электрических параметров удельного сопротивления. Расположение слоёв произвольное – от субгоризонтального до субвертикального с выклиниванием. Локальные неоднородности могут быть изометричными, либо протяжёнными по вертикали или горизонтали. Каждый слой или неоднородность, являющиеся объектами изучения, характеризуется определёнными удельными электриче-

скими сопротивлениями ρ_i .

В результате было создано программно-математическое обеспечение расчёта кажущихся удельных сопротивлений для горизонтально-слоистой, вертикально-слоистой, наклонно-слоистой и клиновидной моделей, а также модели с локальным объектом, при произвольном расположении источников и приёмников на дневной поверхности и внутри среды (по стволу скважины) с применением аналитических и численных методов (см. отчет о НИР за 2013 г.). Эти программы позволили провести математическое моделирование и установить закономерности электрических полей над неоднородными средами с критериями обнаружения и прослеживания слоёв, выклинивающихся пластов и локальных объектов для различных систем наблюдений, в том числе для системы электрической томографии «скважина–поверхность».

5.1 Назначение анализа результатов математического моделирования

Изучение закономерностей электрических полей было направлено на установление разрешающей способности электрической томографии. В процессе анализа учитывалась многие факторы, влияющие на поведение поля и, в первую очередь, тип системы наблюдения, различные варианты расположения электродов, соотношения физических и геометрических параметров неоднородности и вмещающей среды, соотношения геометрических параметров модели и системы наблюдений.

Аномалии, обусловленные изучаемыми объектами, разделены на две группы:

– нормальные аномалии с величинами поля, совпадающими по знаку с электрическими параметрами объекта ($\rho_i/\rho_\Phi > 1$ и $\rho_k/\rho_\Phi > 1$, $\rho_i/\rho_\Phi < 1$ и $\rho_k/\rho_\Phi < 1$);

– «ложные» аномалии («обратного знака»), связанные с эффектами экранирования или обтекания тока.

Интенсивность аномалий в рассматриваемом методе определяется относительными величинами контрастности электрических свойств изучаемого объекта и вмещающей среды. Минимальная интенсивность ожидаемых аномалий A_{\min} определяется путём решения прямой задачи для выбранной ФГМ при наименее благоприятных условиях (наименьшая контрастность электрических свойств, наименьшие размеры и наибольшая глубина залегания объекта). Обычно нужно, чтобы $A_{\min} > 3b_c$ где b_c – среднее квадратичное расхождение элементов поля. В связи с повышением разрешающей способности электрической томографии необходимость выделения слабых аномалий становится наиболее важной процедурой обработки данных.

Для анализа полей ρ_k результаты моделирования представляем в виде разрезов изолиний ρ_k для 60-ти и 100-канальной систем наблюдений с опросом четырехэлектродной установки на поверхности полупространства, а также на поверхности и в скважине. Закономерности разрезов ρ_k сравниваются с особенностями поведения кривых зондирования либо графиков электропрофилирования, поскольку при обработке полевых матриц можно использовать выборки столбцов $\rho_k = f(AM)$ и строк $\rho_k = f(x)$. В процессе исследований имеет смысл

использовать известные зависимости кривых и графиков для предельных установок, в особенности для хорошо изученной установки Шлюмберже.

Особое внимание при анализе разрезов уделено: форме аномальных областей, которые выделялись огибающими линиями с наибольшими градиентами; положению этих линий по вертикали и горизонтали и количественной связи их с геометрией промежуточного слоя или сфероида (кровля, подошва и размеры по профилю); расположению нормальных аномалий и аномалий обратного знака. Интенсивности аномалии оцениваются по величине B и амплитуде A :

$$B = \left| \frac{\rho_{k(\max, \min)} - \rho_1}{\rho_1} \right| \cdot 100\% , \quad A = \frac{\rho_{k(\max, \min)}}{\rho_1} , \quad (1)$$

где $\rho_{k \max}$, $\rho_{k \min}$ – максимальные и минимальные значения аномалии. Величины B и A определяют разрешающую способность системы при выделении объекта. Учитывая имеющиеся опыт считаем, что искомый объект выделяется отчетливо в случае, если вызванная им величина аномалии $B \geq 20\%$, удовлетворительно – $B \geq 8\%$ и плохо – $B < 8\%$.

Для варианта моделирования с использованием скважины принято, что 20 электродов расположены по вертикальному профилю (в скважине), и 40 на горизонтальной поверхности. В этом случае при анализе следует рассматривать и выделять три фрагмента томографической матрицы (рисунок 5.1): 1 – питающие и приёмные электроды располагаются только вдоль ствола скважины (вертикальный профиль), 2 – электроды единичной установки могут находиться в скважине и на поверхности (смешанный профиль), 3 – электроды установки располагаются только на поверхности (горизонтальный профиль).

5.2 Закономерности поля и критерии выделения элементов слоистой среды

В процессе моделирования рассматривали двухслойные и трехслойные модели. Для двухслойной модели приняты следующие параметры:

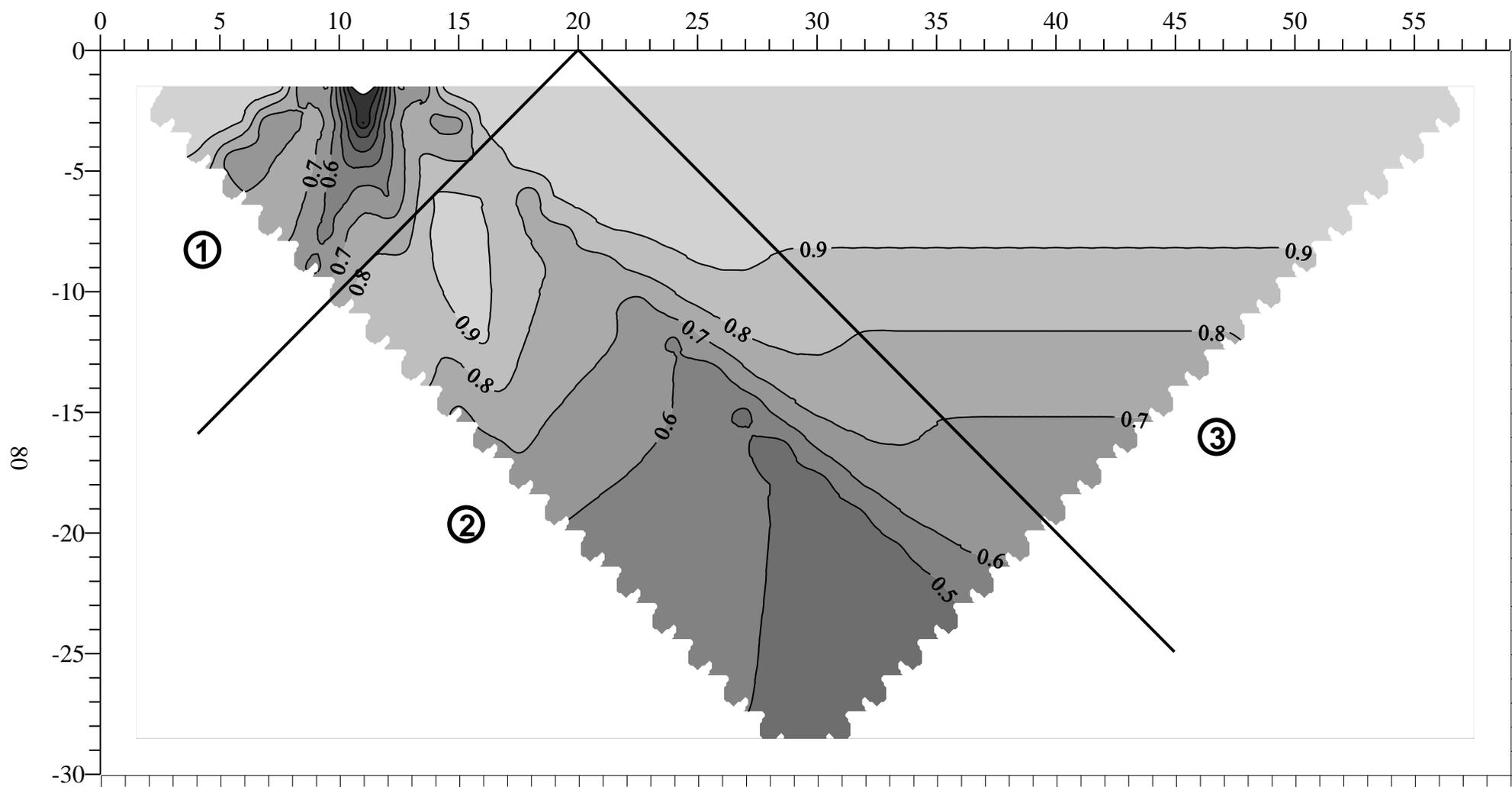
$$h_1 = 1, 2, 4, 8, 16; \quad \rho_2/\rho_1 = 1/16, 1/4, 4, 16$$

а для трехслойных моделей:

$$\begin{array}{ll} h_1 = 2, 4, 8, 16; & \rho_1 = 1 \\ h_2 = 1, 2 & \rho_2 = 1/16, 1/4, 4, 16 \\ & \rho_3 = 1 \end{array}$$

С помощью разработанного программного обеспечения произведен расчет параметров электрического поля ρ_k . Визуализация данных осуществлялся в виде цифровых матриц; а также в виде разрезов изолиний кажущихся сопротивлений.

Как и следовало ожидать, при расположении системы наблюдений на поверхности анализ томографических матриц ничего существенного к известным закономерностям [28] не добавляет. Однако при интерпретации практических матриц плотная информация позволяет эффективнее использовать эти закономерности, установить отклонение поля от его нормальных значений и выделить неоднородности разреза.



Количество электродов установки 60: 20 на вертикальном профиле (в скважине), 40 на горизонтальном профиле (на поверхности). Шаг между электродами = a . Опрос по схеме Веннера ($AM=MN=NB$). Параметры модели: удельное сопротивление первого слоя = 1, удельное сопротивление второго слоя = $1/16$, удельное сопротивление третьего слоя = 1, мощность первого слоя = $8a$, мощность второго слоя = $2a$.

Рисунок 5.1 – Разрез кажущихся сопротивлений для трехслойной модели и системы наблюдений "скважина - поверхность"

Что касается разрешающей способности систем наблюдений расположенных на поверхности и в скважине, то возможности выделения границ и промежуточных горизонтов заметно увеличивается. Границы и пласты уверенно отмечаются локальными аномалиями, осложненными рядом экранных аномалий.

В случае трёхслойной среды вертикальный профиль (рисунок 5.1, фрагмент 1) пересекает границы промежуточного слоя (аналог вертикального пласта при расположении расстановки электродов на поверхности модели), и тогда по ширине аномалии на малых разносах определяется мощность слоя и его удельное сопротивление. Пласты большой мощности (мощность превышает размеры установки) характеризуются широкими и протяжёнными аномалиями, а значения кажущихся сопротивлений близки к истинным удельным сопротивлениям. Пласты малой мощности (мощность меньше размера установки) проявляются в изолиниях менее отчётливо. И, тем не менее, по резким изменениям градиента кажущихся сопротивлений можно наметить границы пласта.

Для расстановки электродов в скважине был проведён анализ графиков на различных условных глубинах и расстояниях от ствола скважины. На больших разносах установки интенсивности аномалий уменьшаются. Так, при расстояниях между электродами $a = 1$ м, пласт большой мощности уверенно выделяется на разносах $r = 1,5$ м и $r = 3$ м, при этом кажущиеся сопротивления в центре пласта отличаются от истинных не более, чем на 20%. При увеличении разносов разница сопротивлений увеличивается. Так для пласта с высоким сопротивлением ($\rho_2/\rho_1 = 16$) при $r = 4,5$ м отношение $\rho_k/\rho_2 = 0,3$, при $r = 6$ м значение $\rho_k/\rho_2 = 0,25$. В меньшей степени эта закономерность отмечается для низкоомных пластов ($\rho_2/\rho_1 = 1/16$): для $r = 4,5$ м и $r = 6$ м значение $\rho_k/\rho_2 \approx 1,5$.

Для пластов малой мощности наблюдаются аналогичные закономерности, только интенсивности аномалий на больших разносах убывают более резко. Особенно это касается низкоомных пластов. Кроме того, для вертикального профиля в поле кажущихся сопротивлений во всех случаях наблюдаются экранные аномалии, связанные с законами распределения плотности тока вблизи контактов.

Весьма информативными для выделения пластов в слоистой среде являются закономерности поля, когда электроды установки располагаются и в скважине и на поверхности (рисунок 5.1, фрагмент 2). В этом случае следует отметить следующие признаки поля:

- аномальная область имеет клиновидную форму и размеры ее определяются глубиной залегания пласта;

- минимальные либо максимальные значения аномальной области располагаются по линии, параллельно границе между фрагментами 2 и 3 и это свидетельствует о горизонтальном положении границ пласта;

- продолжение линии $\rho_k \min$ или $\rho_k \max$ до вертикального профиля определяет положение середины пласта;

- если мощность слоя сравнима с расстоянием между электродами, то для случая проводящего слоя наблюдаем только нормальные аномалии, а для непроводящего как нормальные, так и аномалии обратного знака.

Для фрагмента 3 матрицы (рисунок 5.1) с электродами, расположенными только на дневной поверхности, изолинии поля располагаются параллельно оси профиля и тем самым подчеркивают горизонтальность границ раздела. В этом случае можно воспользоваться известными закономерностями поведения поля кажущихся сопротивлений.

В качестве примера на рисунке 5.1 приведены цифровая матрица и разрез изолиний кажущихся сопротивлений для трехслойной модели с проводящим пластом ($\rho_2/\rho_1 = 1/16$). Расстановка включает 60 электродов, причем 20 из них располагаются в скважине, а 40 – на поверхности. Расчеты ρ_k проведены для установки Венера. Мощность первого слоя равна $8a$, второго – $2a$, где a – расстояние между электродами.

Интересна закономерность поведения ширины аномалии ρ_k по мере удаления от скважины: вблизи скважины ширина аномалий зоны ориентировочно равно мощности пласта (h_2), по мере удаления для низкоомных пластов она убывает.

Таким образом, установлено, что форма аномальных областей определяется положением электродов единичной установки: либо только в скважине, либо на поверхности, либо одновременно в скважине и на поверхности. При анализе практических матриц особое внимание следует уделять следующим признакам:

- аномальная область имеет клиновидную форму, размеры ее определяются глубиной залегания слоя;

- четыре протяженные линейные аномалии для четырехэлектродных установок и три – для трехэлектродных соответствуют общим точкам расположения приемных и питающих электродов, которые позволяют определить кровлю и подошву слоя; линейность аномалий свидетельствует о горизонтальном положении слоя;

- если мощность слоя сравнима с расстоянием между электродами, то для случая проводящего слоя наблюдаем только нормальные аномалии, а для непроводящего как нормальные, так и аномалии обратного знака;

- если внешние изолинии, оконтуривающие аномалию со стороны дневной поверхности, на удалении от скважины выполаживаются и располагаются параллельно поверхности, то это свидетельствует о пологом залегании слоя;

- повышение разрешающей способности при выделении слоя определяет возможность накопления аномального эффекта по общим точкам расположения приемных и питающих электродов.

5.3 Закономерности поля и критерии выделения элементов среды с вертикальными границами

Поле ρ_k для среды с вертикальным пластом принимает определенную форму в зависимости от отношений параметров пласта (ρ_2) и вмещающей среды (ρ_1, ρ_3), смещения точки зондирования от центра пласта, вида установки, соотношения размеров установки и пласта. Эти факторы формируют аномальные значения расчетных величин. Рассматриваемые кривые установок в системах, в которых питающие либо приемные электроды переходят через контакт,

характеризуются резкими изломами. Наибольшие расхождения значений наблюдаются при переходе приемных электродов через контакт из среды низких значений сопротивлений или высоких поляризуемостей в среду повышенных сопротивлений и низких поляризуемостей.

При зондированиях над вмещающей средой форма кривых ρ_k практически сохраняется и с удалением центров от границ пласта уменьшается только амплитуда аномалии, а экстремумы смещаются в сторону увеличения разносов. Форма кривых над пластом резко отличается от кривых над вмещающей средой. Кривые ρ_k , полученные на границах выхода пласта на поверхность, в зависимости от соотношений сопротивлений и поляризуемостей сред принимают форму, похожую либо на кривые над пластом, либо – над вмещающей средой. В приконтактных зонах наблюдаются экранные эффекты: значения ρ_k уменьшаются (увеличиваются) при подходе к среде повышенного (пониженного) сопротивления. Рассмотрим поведение поля ρ_k для примера низкоомного пласта ($\rho_1 = 1$, $\rho_2 = 1/16$, $\rho_3 = 16$). В случае модели с пластом высокого сопротивления поведение поля, в первом приближении, будет обратным.

Кривые установки Веннера над вмещающей средой справа от пласта слабо дифференцированы, в начальной части совпадают с кривыми $AMNB$, а в конечной несколько расходятся. Аномальные значения ρ_k имеют пониженные сопротивления, $A = 2$. Над вмещающей средой слева и в самом пласте кривые имеют ступенчатый характер с характерной восходящей ветвью и конечной асимптотой $\rho_k = \text{const}$. В пласте $A = 120$, а вне его $A = 12$.

Кривые ρ_k установок Шлюмберже AMN , MNB над вмещающей средой при перемещении питающих электродов к пласту имеют ступенчатый характер: от левой асимптоты $\rho_k = \rho_{\text{вм}}$ идет крутая нисходящая ветвь, к точке минимального значения ρ_k приурочен излом ($AO \approx x$) и далее пологая восходящая ветвь. Наибольшая амплитуда аномалии (в данном случае $A = \rho_{\text{вм}} / \rho_{k \text{ min}}$) составляет 78 при $x = 1$ для AMN . При перемещении питающего электрода от пласта форма кривых упрощается: нет изломов, слева от пласта похожа на тип К, справа – на двухслойную. Величина $A \approx 1,5$.

Над центром пласта кривые в начальной части имеют аномалию повышенного сопротивления, величина $B = 0,69$. Основным отличительным признаком кривых являются большие расхождения значений ρ_k при переходе приемных электродов через контакт, амплитуда смещения достигает 100 (MNB).

У границы контакта кривые определяются тремя отрезками ломаных линий или прямых по числу изменений приемной линии. В начальной части кривые изменяются слабо, но важным признаком является обращение кривых AMN и MNB относительно $AMNB$ у левой и правой границ пласта. Конечные отрезки кривых резко смещаются при переходе к новому MN , наибольшие амплитуды смещений достигают 85 (AMN). Кривые $AMNB$ в любой точке профиля занимают промежуточное положение между AMN и MNB .

Кривые установки Земцова над вмещающей средой однотипны, справа от пласта они похожи на кривые AMN , а слева – на кривые MNB . В обоих случаях

нисходящая ветвь сдвинута в сторону больших разносов по сравнению с трех-электродными кривыми, но амплитуды аномалий примерно совпадают. Над пластом кривые в начальной части имеют слабую отрицательную аномалию ($A = 4$), а затем полого воздымаются. Угол наклона восходящей ветви повсеместно выдерживается.

На основании анализа этих материалов установлено, что наибольшей разрешающей способностью при выделении вертикального пласта обладают трех-точечные установки. Кривые ρ_k всех установок наблюдения при изменении расстояния от точек зондирования до пласта характеризуются закономерным изменением формы, которая определяется изломами графика, интенсивностью аномалий, отличием величин на участках перехода с меньшей длины приемной линии на большую. Очень важным критерием является закон расхождений кривых AMN и MNB , либо Веннера и Земцова по обе стороны от пласта. Однако для установления в разрезе вертикального пласта достаточно формализовать признак смещения изломов графика вдоль профиля.

5.4. Закономерности поля и критерии выделения элементов среды с локальным объектом.

Модель со сфероидом вращения в однородной среде может быть использована при аппроксимации локальных трехмерных неоднородностей субгоризонтальной или субвертикальной формы. В структурных провинциях к таким неоднородностям можно отнести различные пластовые выклинивающиеся залежи, линзы водоносных горизонтов, вертикальные водопроводящие каналы, области загрязнения подземных вод. В рудных районах – это рудовмещающие структуры, зоны сульфидизации, дайки и другие объекты. Ранее исследования закономерностей поля проводились по кривым электрического зондирования на основе приближенных решений [29, 30, 31] для предельных установок, либо для частных моделей типа шар в однородной среде.

Ниже изложены результаты анализа для томографических систем наблюдений над однородным полупространством с удельным сопротивлением ρ_1 , включающим на глубине h сфероид с сопротивлением ρ_2 . Размеры сфероида определяются полуосями a по вертикали и b по горизонтали. Тогда при $a < b$ имеем горизонтально протяженный сфероид ("диск"), при $a > b$ – вертикально протяженный сфероид ("веретено"), а при $a \approx b$ – сфероид близок к шару (изометрическому объекту).

К настоящему времени выполнен большой объем вычислений томографических матриц при различных комбинациях геометрических и физических параметрах модели. На первом этапе использованы относительные геометрические параметры в единицах малой полуоси ($a = 1$, либо $b = 1$), аппроксимирующие наиболее интересные случаи в практике. Для "диска" выбраны величины $b/a = 4, 8$; $h/a = 2, 8$; для изометрического объекта – $b/a = 1/2$, $a/b = 2$; $h/a = 2, 8$; для "веретена" – $a/b = 4, 8$; $h/b = 5, 9$. Удельные электрические сопротивления сфероида в единицах вмещающей среды изменялись в диапазоне $\rho_2/\rho_1 = 1/16, 1/4, 4, 16$, охватывая таким образом, случаи высокой, повышенной, пониженной и низкой проводимости объекта. Глубины залегания выбраны так, чтобы иссле-

довать неоднородности вблизи поверхности и глубоко расположенные объекты.

Особенности поля рассмотрены для нескольких вариантов расположения многоэлектронной системы наблюдений относительно центра сфероида. Основным назначением анализа было установление критериев выделения локального объекта (сфероида) в поле кажущихся сопротивлений и установление зависимости параметров модели от структуры поля.

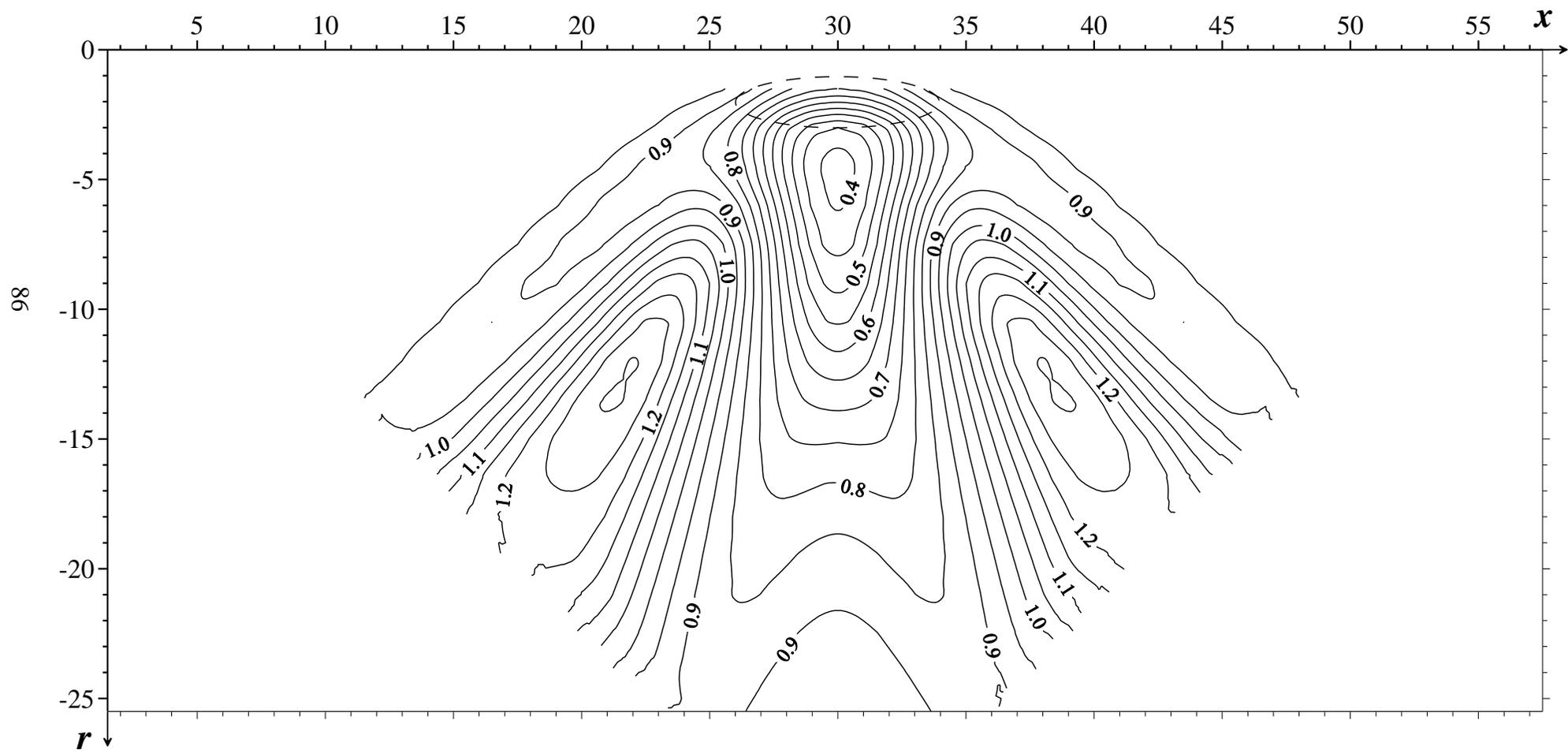
Из общих особенностей поля отметим следующие. Форма, интенсивность и расположение аномальных областей зависят от соотношений полуосей сфероида, удельных сопротивлений объекта и вмещающей среды и глубины залегания. При любых соотношениях геометрических и физических параметров на разрезах повсеместно наблюдаем плавный характер поведения изолиний со сгущением их на определенных участках аномальных областей.

В случае расположения системы наблюдений над горизонтально-протяженным сфероидом линии наибольшего градиента, огибающие аномалию, удовлетворительно отмечают размеры сфероида по профилю и положение кровли объекта. Например (рисунок 5.2), если центральные электроды 60-ти канальной системы наблюдений (20–40) располагаются над сфероидом, то он выделяется замкнутыми изолиниями с минимальными значениями при $\rho_2/\rho_1 < 1$ или максимальными при $\rho_2/\rho_1 > 1$.

По огибающей линии наибольшего градиента для ближней к поверхности аномалии можно выделить сфероид, причем линию легко провести сверху (на малых разносах), хуже – с боков (по оси x) и затруднительно снизу (на больших разносах). Размеры сфероида по профилю определяются достаточно уверенно, а для установления верхней и нижней кромок следует вводить коэффициент зависимости от разноса, величина которого изменяется в диапазоне $C = 0,2 \div 0,5$.

Для изометрических объектов и "дисков" с соотношением $b/a \leq 4$ аномальная область (рисунок 5.2) и особенно ее внутренние изолинии вытянуты по оси ординат, но по огибающей линии большей протяженности по профилю всегда можно отличить "диск" от изометрического объекта. Вытянутая форма аномальной области по оси x усиливается для сфероидов с соотношением $b/a > 4$, причем в этом случае, и внутренние изолинии области вытянуты по профилю. Внешние изолинии имеют, как правило, форму "гриба".

Как видно, по обе стороны от истинной аномалии, по которой выделяется локальный объект, на больших разносах располагаются две аномалии обратного знака с меньшими интенсивностями и противоположенными по знаку величинами ρ_k . Если середина многоэлектродной расстановки находится строго над центром сфероида, то наблюдается симметрия в расположении этих аномалий. При смещении установки симметрия нарушается: площадь и амплитуда аномалии обратного знака на краевых участках системы наблюдений уменьшается или аномалия отсутствует. При расположении крайних электродов системы над сфероидом наблюдаем только часть аналогичной области без аномалий обратного знака. С увеличением глубины залегания сфероида интенсивность аномалий резко понижается, и они выделяются на больших разносах.



Вертикальная полуось $a = 1$, горизонтальная полуось $b = 4$, глубина залегания центра сфероида $h = 2$, расположение томографической установки на поверхности среды, опрос по установке Веннера, число электродов установки 60, координата центра сфероида $x = 30$, пунктиром показаны размеры сфероида.

Рисунок 5.2 – Разрез кажущегося сопротивления для модели однородной среды ($\rho_1 = 1$) с горизонтально-протяженным сфероидом ($\rho_2 = 1/16$)

Ложные аномалии уменьшаются в размерах, а при $h/a \geq 8$ они практически отсутствуют. Внутренние и внешние изолинии области по форме практически не различаются.

Таким образом, по огибающей линии наибольшего градиента нормальной аномалии надежно выделяются объекты типа "дисков" с соотношениями полуосей $b/a > 4$. При этом, если $b/a > 4$, $h/a = 2$, $\rho_2/\rho_1 = 1/4$ коэффициент зависимости определения кровли объекта $C_k = 0,4$. Подошва объекта во всех случаях определяется примерно, поскольку трудно провести огибающую линию, а коэффициент C_n , как правило, меньше 0,4. Размеры сфероиды по профилю удовлетворительно выделяются сгущением изолиний аномалии по оси x . Огибающие линии для изометричных объектов определяются значительно труднее.

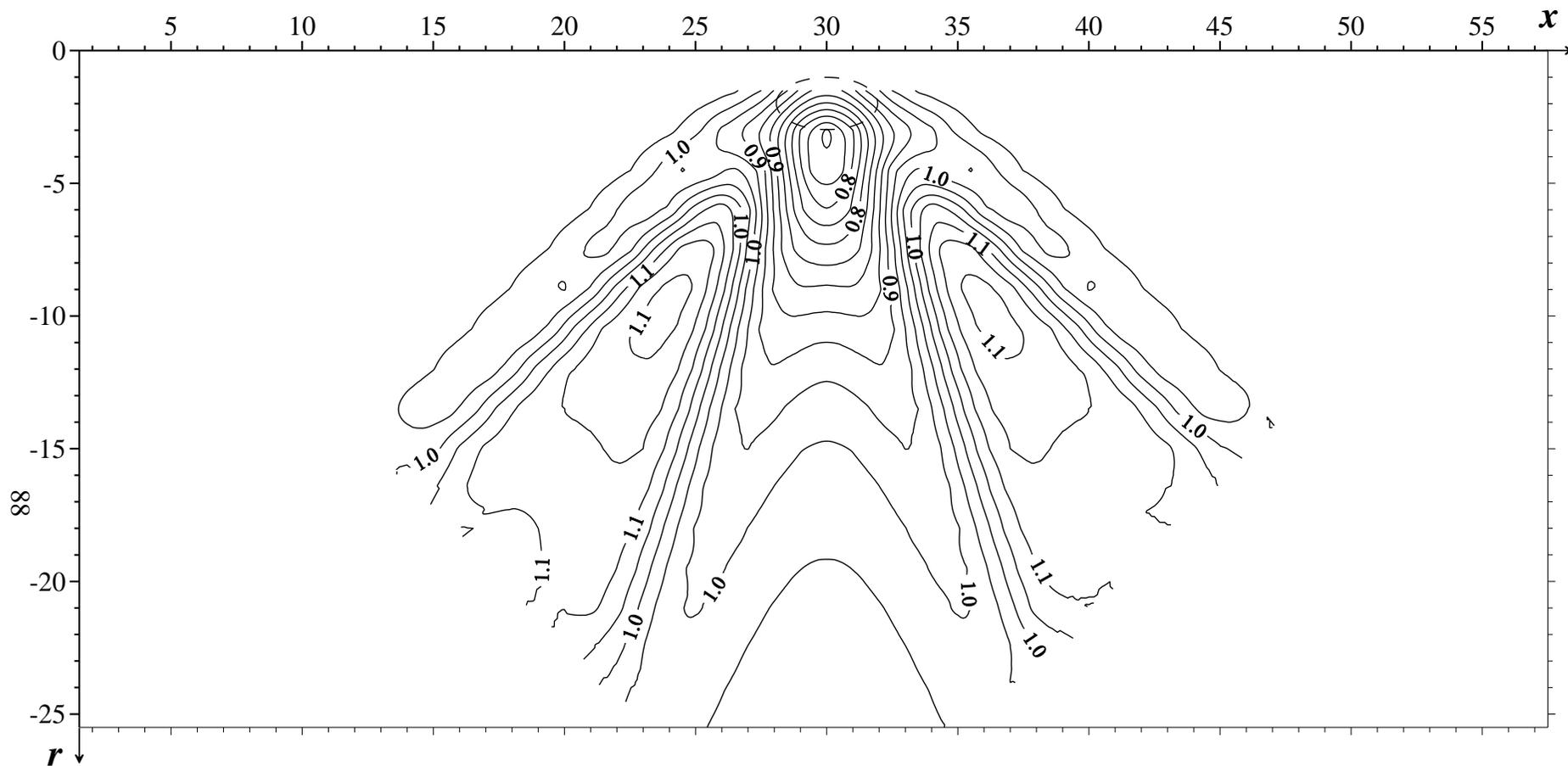
Интенсивность аномалии зависит от геометрических и физических параметров модели. Например, для сфероиды с параметрами $b/a = 2$, $h/a = 2$, $\rho_2/\rho_1 = 1/4$, который расположен под серединой расстановки электродов, величина аномалии $B = 24\%$, амплитуда $A = 1,3$. При уменьшении только удельного сопротивления ($\rho_2/\rho_1 = 1/16$) эти значения увеличиваются – $B = 30\%$, $A = 1,43$ (рисунок 5.3), а при увеличении только $b/a = 4$ в первом случае $B = 37\%$, $A = 1,6$, во втором – $B = 60\%$, $A = 2,5$. Для модели изометрического сфероиды (шар в однородной среде) интенсивность аномалий соответственно уменьшается.

При смещении расстановки электродов относительно проекции центра сфероиды интенсивность аномалии постепенно уменьшается. Например, для случая $b/a = 2$, $h/a = 2$, $\rho_2/\rho_1 = 1/4$ при расположении центра под крайним электродом величины $B = 7\%$, $A = 1,1$, а для случая $b/a = 2$, $h/a = 10$, $\rho_2/\rho_1 = 1/4$ величина аномалии составляет всего $B = 0,3\%$. В этом случае такие неоднородности выделяться не будут.

Для модели "веретено" (субвертикальные водопроводящие каналы, дайки, штоки и др.) в однородной среде форма аномальных областей, в отличие от горизонтально-протяженного сфероиды, прежде всего, зависит от соотношения сопротивлений ρ_2/ρ_1 , а интенсивность аномалий в большей степени зависит от геометрических и меньше от физических параметров. Но при любых соотношениях наблюдаем плавный характер изолиний со сгущением их на определенных участках (рисунок 5.4).

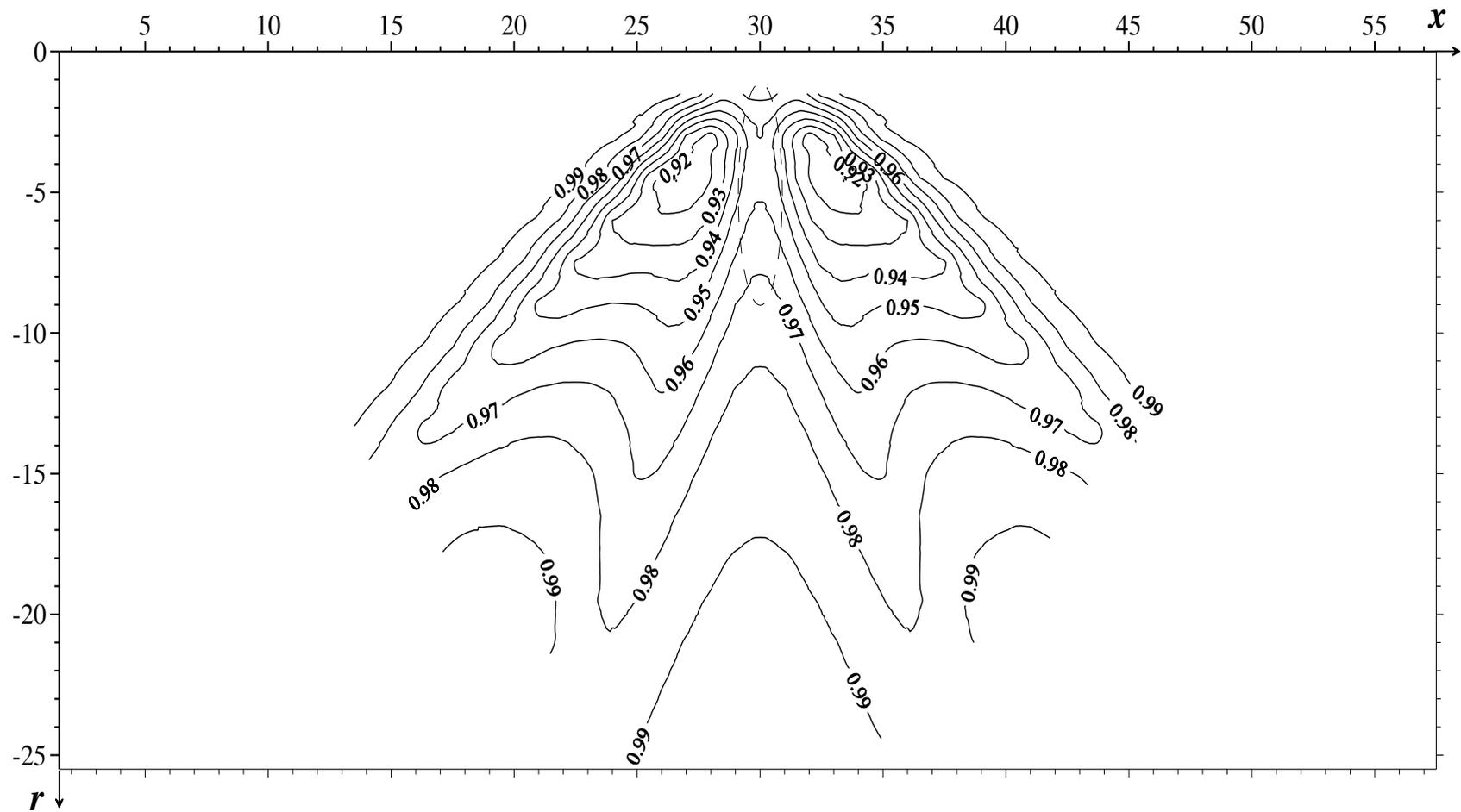
Если центральные электроды системы наблюдений (20–40) располагаются над сфероидом, то он выделяется замкнутыми изолиниями с максимальными ($\rho_2/\rho_1 > 1$) или минимальными ($\rho_2/\rho_1 < 1$) значениями кажущихся сопротивлений. По форме аномальная область напоминает "гриб", имея четыре протяженные внешние зоны. Две из них, связанные с общими положениями питающего (В) и приемного (N) электродов в установке Венера, под разными углами направлены влево от центра ($x = 30$), а две, связанные с электродами А и М, направлены вправо.

Внутренние замкнутые аномалии, в зависимости от физических свойств объекта, разнятся: для непроводящего – это одна аномальная область в центре ($x = 30$), для проводящего – две аномальных области (рисунок 5.4), расположенные симметрично относительно центра.



Вертикальная полуось $a = 1$, горизонтальная полуось $b = 2$, глубина залегания центра сфероида $h = 2$, расположение томографической установки на поверхности среды, опрос по установке Веннера, число электродов установки 60, координата центра сфероида $x = 30$, пунктиром показаны размеры сфероида.

Рисунок 5.3 – Разрез кажущегося сопротивления для модели однородной среды ($\rho_1 = 1$) с горизонтально-протяженным сфероидом ($\rho_2 = 1/16$)



Вертикальная полуось $a = 2$, горизонтальная полуось $b = 1$, глубина залегания центра сфероида $h = 5$, расположение томографической установки на поверхности среды, опрос по установке Веннера, число электродов установки 60, координата центра сфероида $x = 30$, пунктиром показаны размеры сфероида.

Рисунок 5.4 – Разрез кажущегося сопротивления для модели однородной среды ($\rho_1 = 1$) с вертикально-протяженным сфероидом ($\rho_2 = 1/16$).

Аномалии обратного знака наблюдаем только в случае $\rho_2/\rho_1 > 1$ и располагаются они между протяженными аномальными областями.

Из разных вариантов вертикально-протяженных сфероидов условию обнаружения соответствует только модель с параметрами $a/b = 4$, $h/b = 5$, $\rho_2/\rho_1 = 1/8$, для которой величина аномалии составляет 8 %. В других случаях при тех же геометрических параметрах и $\rho_2/\rho_1 = 1/4$ величина $B = 4\%$, для $\rho_2/\rho_1 = 8$ величина $B = 3,2\%$, для $\rho_2/\rho_1 = 4 - B = 2,2\%$.

Более протяженный сфероид ($a/b = 8$, $h/b = 9$) в поле кажущихся сопротивлений проявляется плохо. Только для $\rho_2/\rho_1 = 1/16$ имеем $B = 5\%$, а для $\rho_2/\rho_1 = 1/4$ величина $B = 2,2\%$, в других соотношениях удельных сопротивлений $B < 1\%$.

Для модели "шар в однородной среде" изучаемый объект проявляется хуже, чем горизонтально-протяженный сфероид, но лучше чем вертикально-протяженный.

Так при закрепленных $a/b = 1$, $h/a = 2$ и $\rho_2/\rho_1 = 1/16$ величина $B = 10\%$, при $\rho_2/\rho_1 = 1/4 - B = 5\%$, при $\rho_2/\rho_1 = 16 - B = 5\%$, при $\rho_2/\rho_1 = 4 - B = 3,5\%$. С увеличением глубины залегания шара ($h/a = 8$) объект практически не выделяется, поскольку величины аномалий составляют менее 1 %.

С приближение центра шара к дневной поверхности ($a/b = 1$, $h/a = 1,5$) интенсивность аномалий резко возрастает и при тех же соотношениях удельных сопротивлений величина аномалий соответственно составляет 22 %, 16 %, 15 % и 11 %. При смещении расстановки электродов относительно центра локального объекта нарушается симметрия элементов аномальной области и более протяженные зоны тяготеют к середине установки.

В результате анализа томографических матриц установлены закономерности полей и сформированы критерии выделения горизонтального, вертикального и изометричного объектов в однородной среде, которые можно использовать при интерпретации практических материалов. К ним относятся:

- своеобразная форма аномальных областей для проводящих и непроводящих локальных неоднородностей и законы изменения её при совпадении и несовпадении середины расстановки электродов с эпицентром объекта (при совпадении элементы аномальной области располагаются симметрично относительно центра аномалии, при несовпадении наблюдается асимметрия, причем более протяженные зоны тяготеют к середине расстановки);

- расположение огибающих линий наибольшего градиента нормальной аномалии позволяет определять размеры объекта по профилю, приближенно установить его кровлю, менее уверенно – подошву;

- величины аномалий возрастают при увеличении объема неоднородностей иного удельного сопротивления во вмещающей среде, попадающего в область распространения токов; иногда это совпадает с уменьшением глубины залегания объектов;

- повышение разрешающей способности при выделении объекта определяется возможностью накопления аномального эффекта по общим точкам расположения приёмных и питающих электродов.

6 Оценка опасных геологических процессов методом электрической томографии на Бикинском буро-угольном месторождении

6.1 Геологическое и геоэлектрическое строение участков работ методом электрической томографии

Бикинское (Лучегорское) буроугольное месторождение расположено в пределах одноименной неотектонической депрессии, заложенной на фундаменте Сихотэ-Алинской складчатой области. Депрессия имеет форму неправильного овала с размерами по осям примерно 35×20 км, вытянутого в субширотном направлении вдоль зоны Алчанского разлома. Собственно месторождением является центральная и западная часть структуры площадью до 160 км², где сосредоточены угленосные толщи.

В геологическом строении депрессии принимают участие палеозойские и мезозойские отложения фундамента и кайнозойские породы, образующие чехол структуры. Магматические породы известны на глубине в пределах фундамента и в виде небольших изолированных эффузивных покровов на поверхности. Относительно простая пликативная структура впадины осложнена разрывными нарушениями типа сбросов и сбросо-сдвигов. Особенно интенсивно дислоцирован дизъюнктивами (в основном северо-восточного простирания) палеозойский фундамент впадины.

Вертикальные амплитуды сбросов меняются в значительных пределах от 18 до 300 м. Активизация разломов фундамента в палеогене и неогене повлекла образование многочисленных разрывов в породах кайнозойского чехла. Они так же имеют преимущественно сбросовый характер, значительно усложняя строение угленосных толщ.

На западном фланге Бикинского месторождения вблизи его северо-восточного борта (участок Контровод) в угленосных отложениях установлены проявления неотектоники, выраженные микроскладчатостью, флексурными прогибами, разрывами и другими деформациями.

Причиной дислокаций являлись перемещения вдоль долгоживущих разломов фундамента, проявившихся и в породах чехла [32, 33]. Кривизна разрывных зон в направлении перемещения способствовала образованию узлов растяжения и сжатия. В узлах сжатия проявляется мелкая, часто дисгармоничная складчатость с крутыми залеганиями слоёв, сопровождаемая мелкими разрывными и межпластовыми подвижками.

Угленосные отложения месторождения разделены на три толщи: нижнюю угленосную, безугольную и верхнюю угленосную. Первая сопоставляется с эоценовой угловской, вторая – с олигоценовой надежденской, третья – с миоценовой усть-давыдовской свитами. В разрезе нижней угленосной толщи (мощность изменяется от 50 до 350 м) чётко выделяются три группы угольных пластов, сверху вниз: 16, 17, 18. Мощность угольных пластов в группах 20–36 м. Верхняя угленосная толща мощностью до 750 м содержит 15 групп пластов угля и распространена в центральной части впадины.

В пределах групп наблюдаются расщепления пластов, увеличение мощ-

ности, выклинивания. Для изучения характера и условия залегания угольных пластов, выявления и оконтуривания локальных поднятий, разрывных и других нарушений требуется густая сеть скважин с комплексом геофизических исследований в скважинах (ГИС).

С целью рационального размещения скважин на месторождении применялись наземные геофизические исследования. Комплекс геофизических методов [34] включал: вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), симметричное электропрофилирование (СЭП), дипольное электропрофилирование (ДЭП) и магниторазведку.

Метод ВЭЗ проводился по сети 250×100 м установкой АМNB с максимальными разносами АВ = 1000, 2000, 4000 м в зависимости от предполагаемой глубины залегания фундамента. Электропрофилирование СЭП проводилось по сети 150×25 м установкой А'АМNBВ' с двумя измерениями параметров поля при АВ' = 300 м, АВ = 150 м, MN = 25 м. Электропрофилирование ДЭП проводилось односторонней дипольной установкой М10N30А20В30В' с двумя измерениями при разносах 45 м и 70 м по сети 50×10 м. Магниторазведка проводилась по сети 150×25 м аппаратурой М–33 в помощь решения задач крупномасштабного картирования.

Электроразведочные исследования проводились для:

- установления границ распространения кайнозойских отложений и выходов пород фундамента под четвертичные образования;
- расчленения разреза кайнозойских отложений и определения площадей распространения горизонтов, выделенных по изменению сопротивления;
- картирование границ распространения нижней угленосной, безугольной и верхней угленосной толщ;
- определение площади распространения и мощности четвертичных отложений;
- определение глубины залегания пород фундамента.

При интерпретации данных электроразведки использовались петрофизические параметры ГИС. В результате установлен характер изменения удельных электрических сопротивлений горных пород месторождения (таблица 6.1).

Минимальными значениями сопротивлений характеризуются аргиллиты и алевролиты безугольной толщи, четвертичные глины; максимальными – образования фундамента и галечники. Отложения нижней угленосной толщи выделяются промежуточными значениями сопротивлений. По данным ГИС угольные пласты 16–18 групп выделяются 3–5-ти кратным повышением сопротивления отдельных угольных пачек над фоном в случае залегания их в алевролитах или аргиллитах. В целом же отмечается невыдержанность электрических свойств как угольных толщ, так и слагающих их отдельных пластов. Вблизи поверхности, где пласты изменены процессами выветривания, выделение их по данным КС затруднено. Широкий интервал перекрытия электрических свойств углей и вмещающих пород создаёт значительные трудности при выделении угольных пластов.

Таблица 6.1 – Удельные электрические сопротивления горных пород Бикинского бурого угольного месторождения

Наименование пород	Удельные электрические сопротивления, Ом·м
Уголь бурый	15 – 50
Углистый аргиллит	10 – 38
Глины четвертичные	10 – 30
Аргиллит	5 – 30
Алевролит	10 – 30
Песчаник тонкозернистый	20 – 50
Песчаник мелкозернистый	25 – 75
Песчаник среднезернистый	58 – 100
Галечник	70 – 100
Конгломерат	20 – 54
Кора выветривания	25 – 70
Породы фундамента	80 – 300

По результатам интерпретации данных ВЭЗ построены геолого-геофизические разрезы, которые с учётом данных бурения и ГИС позволили получить информацию о мощности угленосных отложений, характере и морфологии погребенной поверхности фундамента. Особенностью разрезов является плавное увеличение сопротивления пород от 20–30 Ом·м в верхней части (отложения безугольной толщи) до 80–200 Ом·м в нижней (породы фундамента).

В дополнение к разрезам строились погоризонтные карты изоом кажущихся сопротивлений для фиксированных разносов питающих линий АВ (450 м, 750 м, 1000 м), которые позволили уточнить контуры депрессии и провести, в отдельных случаях, литологическое расчленение угленосных отложений. Результаты интерпретации ВЭЗ и электропрофилеирования дали возможность установить корреляцию основных комплексов осадочных пород и характером геоэлектрического поля. Карты изоом позволили проследить контур депрессии по положению изолинии 80 Ом·м.

Однако следует признать, что эффективность электроразведочных исследований при решении поставленных задач и в особенности при расчленении разреза была низкой. Это связано с особенностями геоэлектрического разреза месторождения и методикой полевых работ. Особенности геоэлектрического разреза рассмотрены ниже в отдельном разделе. По методике полевых работ нужно отметить, что технологии работ с подвижными источниками или приёмниками по экономическим соображениям определяли редкую сеть измеренных значений кажущихся сопротивлений по разносам и по профилю. В применяемых методиках величина разносов изменяется, как правило, через $\sqrt{2}$ в геометрической прогрессии. Шаг по профилю определяется стадией геологоразведочных работ и, например, при поисковых исследованиях составлял 250–500 м, а при детализации уменьшался до 50–100 м. Редкая сеть измеренных значений не позволяла детально проследить особенности поля и получить в результате интерпретации достоверную информацию о геоэлектрическом разрезе.

Анализ каротажных диаграмм скважин на участках западного фланга Бикинского месторождения и прилегающих к нему площадей участка № 4 показывает многообразие типов геоэлектрического разреза. Здесь выделяются разрезы с одним пластом угля: трёхслойный типа К (скв.6-к), четырёхслойные типа КН (скв.16-г, 27-к), пятислойные типа КНК (скв.14-Д, 165-к.207) и шестислойные типа КНАК (скв.7-Д); с двумя пластами угля: пятислойные типа КНА (скв.27-Д, 16-к, 301-Д, 20-к) и типа КНК (скв.12-к, 193, 210); шестислойные типа КНАК (скв.33-к) и типа КНКQ (скв.34-к) и семислойные типа КQНКН (скв.303); с тремя пластами угля: восьмислойные типа КНКНКQ (скв.309-Д).

Многообразие разрезов объясняется сложным геологическим строением месторождения, невыдержанностью кайнозойских отложений по мощности и электрическим свойствам отдельных слоёв. Сложные геоэлектрические условия на месторождении усугубляются слабой дифференциацией угольных пластов и вмещающих пород по удельному сопротивлению. Эти обстоятельства привели к низкой эффективности электроразведочных исследований в целом на месторождении. Непосредственно на выбранных участках представлены большинство из перечисленных типов разреза (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Геоэлектрические параметры разрезов западного фланга Бикинского бурогоугольного месторождения по скважинам

Номер скв., раз. линии	Тип разреза	Кол-во пластов угля	Мощности и сопротивления слоев (h_i , м, ρ_i , Омм)															
			h_1	ρ_1	h_2	ρ_2	h_3	ρ_3	h_4	ρ_4	h_5	ρ_5	h_6	ρ_6	h_7	ρ_7	ρ_8	
6-К, XI ^A	К	1	41	8	31	25		18										
27-К, XIII	КН	1	15	15	19	55	52	40		100								
16-К, XII ^A	КНА	2	18	40	22	55	24	30	11	45		80						
301-Д, XI	КНА	2	31	20	29	55	22	25	13	55		80						
20-К, XIII	КНА	2	10	5	28	55	18	20	13	45		80						
12-К, XII	КНК	2	48	15	26	45	53	30	18	45		20						
35-К, XIII ^A	КНАК	2	32	25	12	55	12	30	27	40	11	50		35				
34-К, XIV	КНКQ	2	40	20	7	40	10	20	10	40	13	22		17				
303, XIII ^A	КQНКН	2	33	20	17	40	11	25	18	15	15	40	7	30		80		
309-Д, XI ^A	КНКНКQ	3	32	5	7	20	27	7	22	15	26	10	4	20	10	15	10	
Параметры обобщенного разреза:																		
	КНКН	2	15	20	10	50	20	10	15	30	15	15		80				

В разрезе двух скважин (6-к, 27-к) присутствует один угольный пласт с

сопротивлением 25 Ом·м и 55 Ом·м среди алевролитов, аргилитов и четвертичных глин. В разрезе семи скважин выделяются два угольных пласта, сопротивления которых изменяются в диапазоне 35–55 Ом·м. Вмещающими породами являются алевролиты, аргиллиты, песчаники, углистые аргиллиты, кора выветривания. Удельные сопротивления этих пород изменяются в широких пределах от 5 до 80 Ом·м. И, наконец, в разрезе одной скважины (309–Д) присутствует три угольных пласта с сопротивлениями 15–20 Ом·м среди алевролитов, аргилитов, углистых аргиллитов с сопротивлениями 7–10 Ом·м и песчаников с прослоями угля – 20 Ом·м.

На основе анализа представленных геоэлектрических разрезов составлена обобщающая модель с двумя угольными пластами. Удельные сопротивления угольных пластов модели отличаются от сопротивлений вмещающих пород незначительно (15–20 Ом·м). Но именно такие соотношения сопротивлений чаще всего встречаются в пределах западного фланга месторождения.

Предварительный расчёт и анализ теоретических матриц на поверхности слоистой среды проводился по программам моделирования электрических полей, созданных на предыдущем этапе НИР, с учетом разработанных закономерностей аномального поля. Анализ параметров обобщенной модели показал, что выделение и прослеживание отдельных угольных пластов является трудной задачей. Уверенно выделяется только кровля групп угольных пластов и фрагментами их подошва на глубинах до 40 метров.

Поэтому совершенствование технологии электрической томографии при выделении угольных пластов на больших глубинах связано с разработкой методики наблюдений «скважина–поверхность», размещающей питающие и приёмные электроды в скважине и на поверхности. Обоснование такой методики на основе математического моделирования электрических полей приведено в предыдущем отчете. Учитывая, что в настоящее время мы располагаем аппаратурой с поверхностными «косами», опытно-методические работы проведены на двух участках с целью прослеживания кровли фундамента и выходов угля под четвертичные отложения.

6.2 Изучение тектонических нарушений и прослеживание поверхности выхода фундамента

Работы методом электрической томографии проводились с использованием многоэлектродной электроразведочной аппаратуры КЭТ–1, разработанной авторами НИР по гранту «Старт» в 2008–2009 гг., и SARIS (Scintrex, Канада), имеющая интерфейс произвольного наращивания кабельных систем в расстановке («дейзи-цепочки»). Системы опроса единичной установки (комбинация взаимного расположения двух приемных и двух питающих электродов), в соответствии с которой осуществляется переключение электродов встроенным микропроцессором, включали наиболее применяемые в практике установки Веннера, Шлюмберже и дипольную осевую. Применение трехэлектродного опроса, как правило, затруднялось наличием мощных низкоомных глинистых отложений и небольшой мощностью аппаратуры (до 100 Вт).

В процессе исследований число электродов в расстановках изменялось от 56

до 125 при шаге между соседними электродами от двух до пяти метров. Перекрытие расстановок вдоль профиля составляло от 0 до 125 м. При площадных работах расстояния между профилями варьировались в диапазоне 50–100 м. При этом для 100-электродной расстановки с опросом единичной установки по типу Веннера ($AM=MN=NB$) первая строка томографической матрицы включала 97 значений кажущихся сопротивлений (ρ_k), вторая – 94, третья – 91, и так далее до одного значения в 33 строке при последней возможной длине между электродами в единичной установке $33a$, где a – шаг между электродами. Наиболее часто величина a выбиралась равной 4 или 5 м, т. е. длина 100-электродной расстановки составляла 396 или 495 м, а измеряемая матрица из 33 строк включала 1617 значений ρ_k .

Каждый электрод в соответствии с программой опроса единичной установки в томографической расстановке используется как в качестве питающего, так и приемного. Процесс изменения расстояний между источниками и приемниками в установке позволяет изучать разрез в горизонтальном (по латерали) и вертикальном (по глубине) направлениях. Выборки значений ρ_k по строкам матрицы соответствуют графикам электропрофилирования, а по столбцам – кривым электрического зондирования.

В случае равномерного расположения электродов в системе наблюдений программу управления их переключением формировали таким образом, что каждое измерение параметров поля соответствовало либо известным четырех-электродным установкам Веннера, Шлюмберже ($AMNB$, $MN < 1/3AB$), осевой ($AMNB$, $AB=BM=MN$), либо трехэлектродным вариантам этих установок.

Полевые работы обычно начинались с опробования установок опроса, оптимальных форм и длительности питающего сигнала, установления количества контрольных измерений разности потенциалов ΔU на каждой приёмной линии, выбора рациональных расстояний между электродами в расстановках и перекрытия расстановок по профилям. По отдельным профилям проводились контрольные наблюдения с интервалом в несколько дней и режимные наблюдения через несколько месяцев.

Обработка и интерпретация полевых томографических материалов проводилась на ПЭВМ. Обычно этот этап включал следующие операции: создание базы данных на основе электронной карты участка работ с внесением координат томографических профилей и скважин, первичную обработку и формирование фоновой модели (модели начального приближения), количественную интерпретацию и построение геоэлектрических моделей, геологическое истолкование разреза и построение геолого-геофизических разрезов с использованием результатов бурения.

Поскольку каждая цифровая матрица на профиле содержала до нескольких тысяч значений кажущихся сопротивлений в зависимости от типа установки и количества перекрытий, то вначале первичной обработки проверялось качество массива измеряемых параметров – разницы потенциалов и силы тока для каждой выборки установки. Достоверность замеров проверялась с помощью разработанного алгоритма анализа изменения измеренных значений по каждому разносу томографической матрицы, использующего процедуру робастной стигмации. Кроме того, использовались известные алгоритмы фильтрации данных, а статистика повторяемости измерения $\Delta U/I$ оценивалась с анализом величины ΔU .

На следующей стадии проводилось построение разрезов кажущихся сопротивлений ρ_k . Для формирования разреза кажущихся сопротивлений точку записи по строкам относили к середине приёмной линии установки, а по столбцам – к соответствующему разному. Такой разрез даёт наглядную, но приближённую картину распределения электрических свойств горных пород по профилю и глубине. Но он является удобным средством изображения исходных данных в полевых условиях.

На основе анализа разреза ρ_k по профилю определялся характер структуры геоэлектрических объектов и границ и формировалась модель начального приближения по профилю, которая составляла основу последующей интерпретации. Дальнейшая интерпретация осуществлялась с помощью программы Res2dinv (М.Н.Локе, 1995, Geotomo Software), где для математического моделирования поля постоянного тока томографических установок используется двумерная модель разреза, который состоит из большого количества прямоугольных блоков. Использование представления о модели начального приближения по профилю позволяло сузить объем возможных моделей.

Для оценки возможностей применения электрической томографии при изучении опасных геологических процессов были проведены работы на нерабочем борту разреза «Лучегорский-2», в районе 10–13 линий разведочных скважин (северная часть участка «Контровод»). Участок работ характеризуется неглубоким залеганием складчатого фундамента, представленного мелко- и тонкозернистыми песчаниками и кремнисто-глинистыми сланцами, и интенсивным расчленением его рельефа. На верхней части фундамента распространена кора выветривания мощностью 5–10 м. Сверху фундамент перекрыт четвертичными отложениями и насыпным грунтом пород вскрыши из разрезной траншеи. Литологический состав верхней части разреза резко меняется по площади и на глубину. Он представлен разнообразными глинами, суглинками, супесями, песками с подчиненным количеством грубозернистых и щебнистых пород, алевролитами, аргиллитами и углистыми породами. Наиболее высокое гилсометрическое положение занимают отложения, сложенные галечниками, песками с гравием. Эти породы формировались в руслах и поймах малых притоков реки Контровод.

В результате интерпретации томографических матриц построены геоэлектрические разрезы (рисунки 6.1, 6.2), на которых выделяется кровля зоны выветривания фундамента. На профиле 1 она прослежена на глубинах от 5 до 20 м. Удельные электрические сопротивления пород фундамента изменяются в диапазоне 85–130 Ом·м. Поверхность фундамента имеет изрезанный характер и можно установить границы нарушений. В отдельных местах отложения коры выветривания имеют сопротивления 60 Ом·м, что связано с обводненными участками. На профиле 2 кровля фундамента имеет более плавный характер, глубины изменяются в диапазоне 6–12 м. Но удельные сопротивления пород фундамента здесь повсеместно имеют пониженные значения сопротивления – около 50–60 Ом·м, что указывает направление движения подземных вод от первого ко второму профилю.

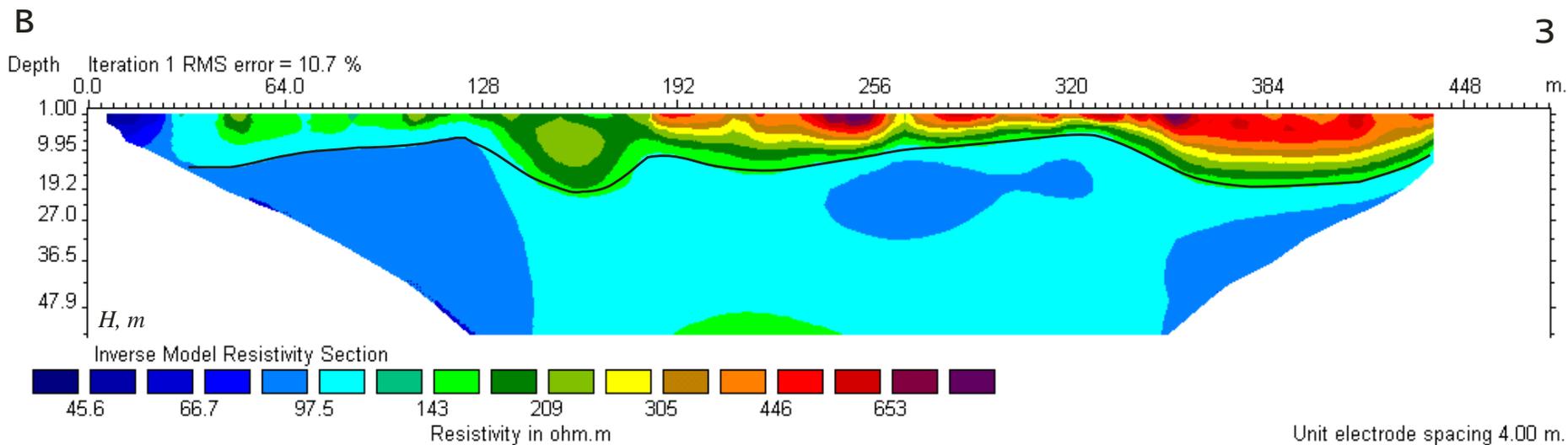


Рисунок 6.1 – Геоэлектрический разрез по профилю №1 на участке «Контровод»

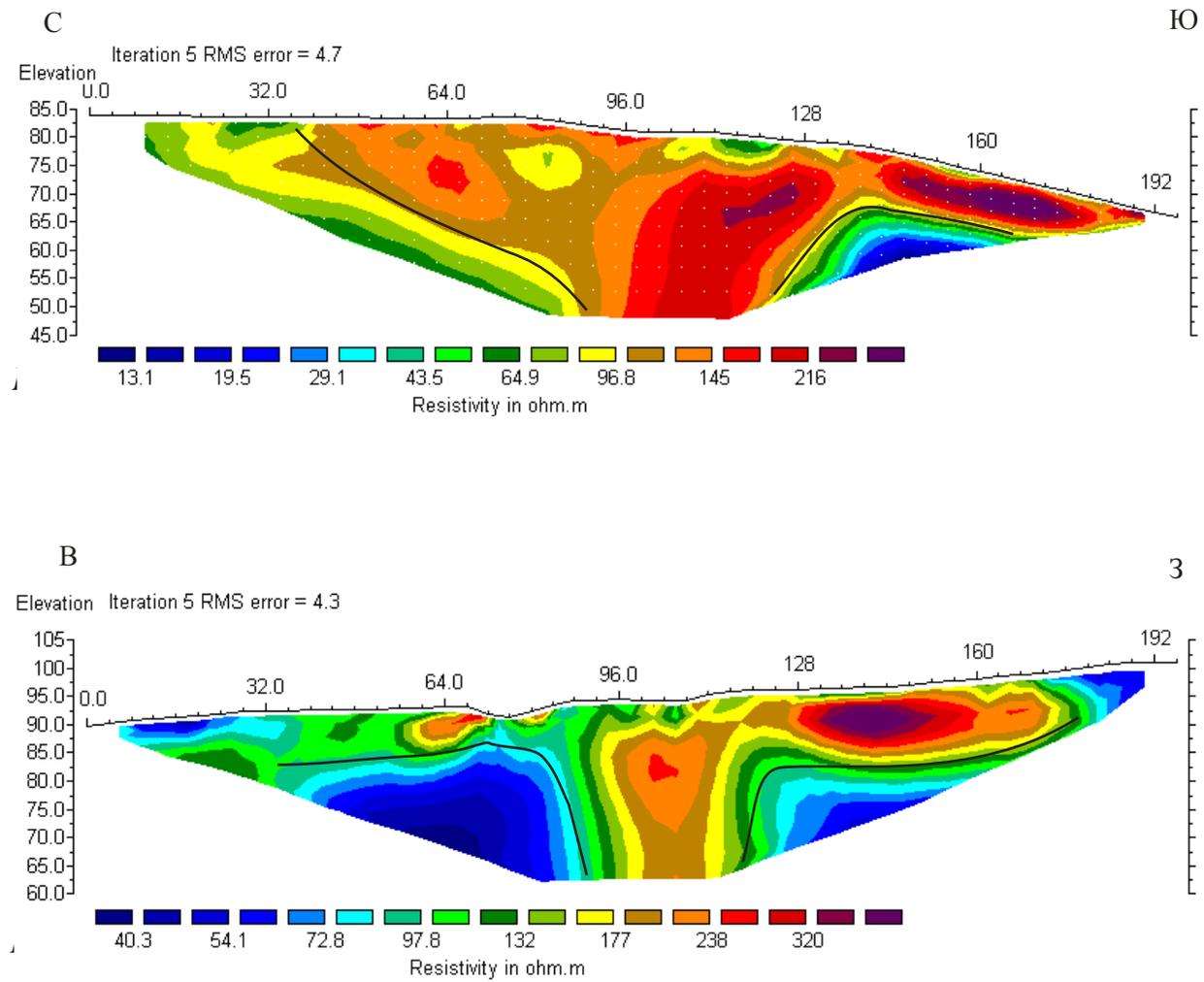


Рисунок 6.2 – Геоэлектрические разрезы по профилям №3 и №4 на участке «Контровод»

На первых двух профилях в целом отмечаются более высокие сопротивления. Аномальные участки с высокими значениями выделены в местах, где кора выветривания фундамента имеет низкие сопротивления. (профиль 1, ПК 320–380; профиль 2, ПК 200–260) Это возможно в случае, если верхняя часть разреза представлена песчано-щебнистыми отложениями, гравием, галечниками и другими хорошо проницаемыми грунтами.

На профилях 3 и 4 отложения над фундаментом имеют пониженные сопротивления (100–200 Ом·м), но среди них отмечены локальные неоднородности низкоомных (55–85 Ом·м) пород. Эти неоднородности связаны с линзами водонасыщенных грунтов и приурочены к локальным прогибам.

В результате исследований установлено, что электрическая томография позволяет детально изучать структурно-тектонические особенности геологического разреза. На площади работ выделяется кровля фундамента и тектонические нарушения, прослеживается изменение физических свойств самого фундамента, четвертичных отложений и насыпных грунтов. При наличии редких заверочных скважин неоднородности геоэлектрического разреза можно однозначно отождествлять по литологическому составу и выделять плоскости тектонических нарушений и линзы водонасыщенных пород в коре выветривания фундамента.

6.3 Изучение тектонических нарушений и прослеживание поверхности выхода фундамента

Наиболее сложными условиями в пределах разреза «Лучегорский–1» отличается южный борт разреза «Восточный» в связи с наклонным залеганием слоев и угольных пластов в сторону выработанного пространства под углами до 25°, наличием в кровле и почве пластов слабых пластичных пропластков аргиллитов с низкими характеристиками сопротивляемости сдвигу, высокими напорами подземных вод из нижележащих нескрытых групп угольных пластов, расположением нерабочего борта разреза в днище долины р. Контровод. Вышеперечисленные условия являются главными факторами, отрицательно влияющими на устойчивость бортов разреза. Здесь выделяются две опасные зоны, оползни на которых происходят периодически с 1993 года и до настоящего времени. Анализ горно-геологических условий на площади этих зон с оценкой устойчивости бортов и рекомендациями по безопасной отработке угольных пластов приводился многими организациями [35, 36, 37].

Например, по данным инженерно-геологических работ [38] с бурением пяти скважин на бровке борта разрез сверху представлен насыпным грунтом, почвенно-растительным слоем (до 1,5 м) и комплексом аллювиальных пород четвертичного возраста (до 21 м). Насыпной грунт включает суглинок со щебнем и дресвой, а также глины и аргилито-алевролитовые породы вскрыши. Аллювиальные породы (aQ_{IV}) сложены преимущественно мягко- и тугопластичными глинами и суглинками, переходящими с глубиной в полутвердые суглинки и глины, песчано-глинистые отложения, иногда выделяются русловые гравийно-галечниковые образования. Слои и пропластки мягко- и тугопластичных пород, песчано-глинистые и гравийно-галечниковые отложения в разрезах по редким скважинам обычно не выделялись.

Ниже четвертичного осадочного комплекса залегают реликтовые третичные (N) покровные глины. Они мягкопластичные до текучепластичных, вскрытая мощность их колеблется в диапазоне 2÷6 м. Отнесение этих отложений к покровным объясняется тем, что они присутствуют в кровле нижележащих палеогеовых образований независимо от орографии поверхности последних.

На границе третичных реликтовых глин и палеогеновых образований (верхняя угленосная толща) залегают полутвердые аргиллитоподобные суглинки мощностью до 1 м. Эти суглинки кальматируют кровлю палеогеновых образований и являются водоупорным горизонтом. Верхняя угленосная толща в этой части месторождения содержит до 15 групп пластов угля. Вмещающими породами являются алевролиты, аргиллиты, тонко- и мелкозернистые песчаники.

При изысканиях особое внимание уделялось комплексу третичных глин, как одному из экзогенных факторов, способствующих оползнеобразованиям при техногенном воздействии. Эти глины в естественном состоянии имеют мягкопластичную, текучепластичную или текучую консистенцию, которая зависит от условий питания их подземными водами. В современных условиях этот слой имеет высокую степень водонасыщения. О наличии свободной воды можно судить по границе установления уровня грунтовых вод после бурения скважины.

Ниже по борту ослабленными слоями являются нижнечетвертичные песчано-гравийные отложения, залегающие до отработки в основании аллювиальной глинистой толщи, а также пропластки пластичной глины в угленосной толще. Следует отметить, что литологический состав пород верхней части разреза рассматриваемого участка невыдержанный, характеризуется частыми фациальными замещениями и выклиниваниями. Породы слабо литифицированы: песчаники по свойствам близки к пескам, а алевролиты и аргиллиты – к супесям и глинам.

Основными задачами электрической томографии при оценке оползневых процессов в условиях южного борта разреза «Восточный» были:

- получение структурно-тектонического строения, включая определение геометрических и электрических параметров основных комплексов геологической среды;
- обнаружение и пространственное прослеживание ослабленных слоев, связанных с мягкопластичными и пластичными глинами, обводненными песчано-гравийными либо техногенными отложениями;
- исследование динамики развития инженерно – геологических элементов среды во времени.

От пространственной ориентировки ослабленных слоев в оползневом массиве в значительной степени зависят положение и форма поверхностей скольжения. Этот фактор является одним из решающих при оценке устойчивости откосов, сложенных слоистыми породами и грунтами при направлении падения слоев в сторону выработанного пространства.

Предполагалось, что плотная информация поля кажущихся сопротивлений по профилям и глубине может обеспечить получение сведений о простран-

ственной ориентировке ослабленных слоёв и других параметрах среды. Поэтому для решения поставленных задач предварительно проводилось моделирование электрических полей и изучение их закономерностей, используя результаты инженерно-геологических исследований. Результаты моделирования были использованы в процессе обработки практических матриц.

На основе анализа данных моделирования установлено, что на площади оползневого массива с указанными параметрами вмещающих пород мягкопластичные глины выделяются и прослеживаются в поле кажущихся сопротивлений на практических матрицах в случае, если их мощность превышает 7 м. Этот вывод подтверждён при анализе более пяти десятков теоретических матриц, полученных на разных участках оползневого массива.

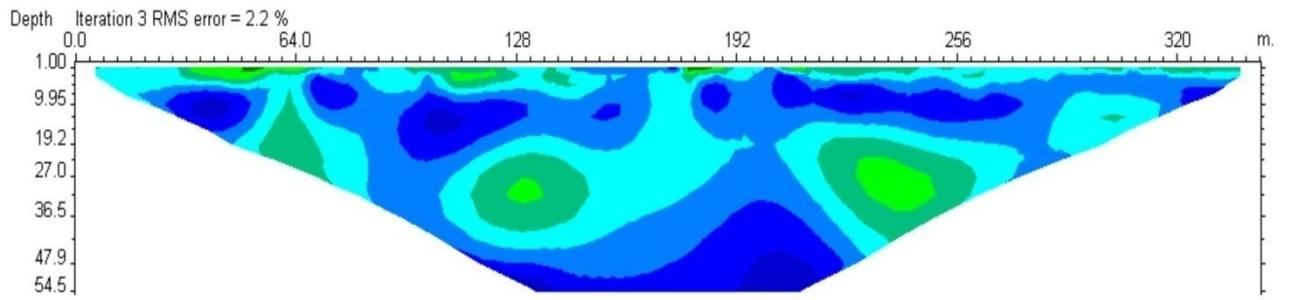
Работы электрической томографией в пределах южного борта разреза «Восточный» проводились по 32 прямолинейным профилям, в основном, вдоль и параллельно бровке борта разреза, т. е. в субширотном направлении. Большинство расстановок включало 75 электродов с расстоянием между ними 4,5 м и соответственно длина профиля составляла 333 м. Но есть отдельные расстановки по 100 электродов, для которых длина профиля составляла 445,5 м.

В процессе измерений опробованы разные режимы наблюдений, запрограммированные установки опроса, формы и длительности питающего сигнала. Проводился контроль условий заземления и, как обычно, проверка точности измерений. На трёх профилях с интервалом 6 месяцев проведены режимные наблюдения с целью исследования изменений удельных сопротивлений во времени.

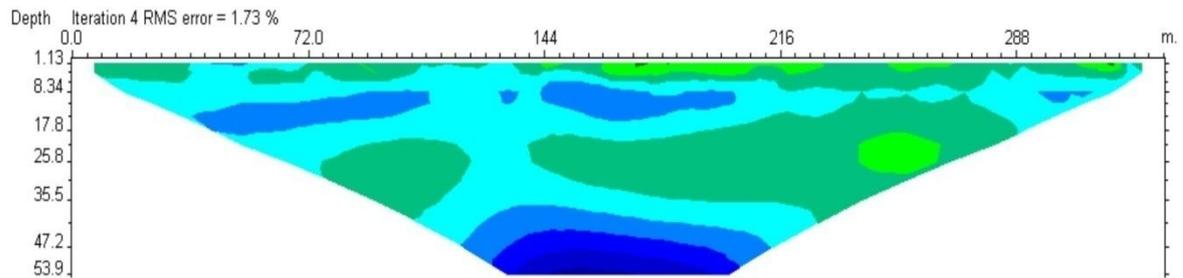
На основе детального анализа разрезов, сравнения их с теоретическими разрезами (функциями $\rho_k = f(r)$), использования результатов моделирования получены сведения о закономерностях изменения удельных сопротивлений по глубине и профилям. В итоге были уточнены предварительные параметры фоновой геоэлектрической модели, которые использовались в процессе инверсии полевых матриц. Количественная интерпретация осуществлялась с помощью программы Res2dinv, где для математического моделирования использовалась двумерная модель разреза. Использование информации о предварительных параметрах и результаты моделирования позволили существенно повысить качество интерпретации.

В качестве примера на рисунках 6.3 и 6.4 приведены геоэлектрические разрезы по профилям №1, 2, 3, на которых выполнены режимные наблюдения (профиля № 5, 6, 9). На них видны основные элементы структурно-тектонического строения оползневого склона. Высокими удельными сопротивлениями от 34 до 100 Ом·м выделяются безводные насыпные грунты, техногенные образования, почвенно-растительный слой и гравийно-галечниковые отложения. Сопротивлениями в диапазоне 14–34 Ом·м отмечаются слабо обводненные тугопластичные глины, суглинки, песчано-глинистые и песчано-гравийные отложения. Интервалы разреза с сопротивлением ниже 14 Ом·м соответствуют сильно обводненным породам разного возраста, мягкопластичным и текучепластичным глинам и суглинкам.

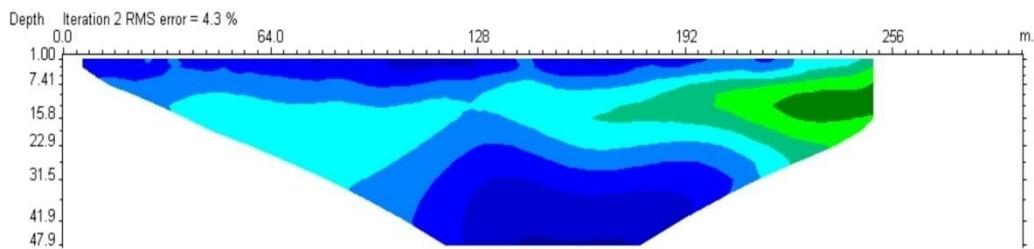
Профиль №1



Профиль № 2



Профиль №3

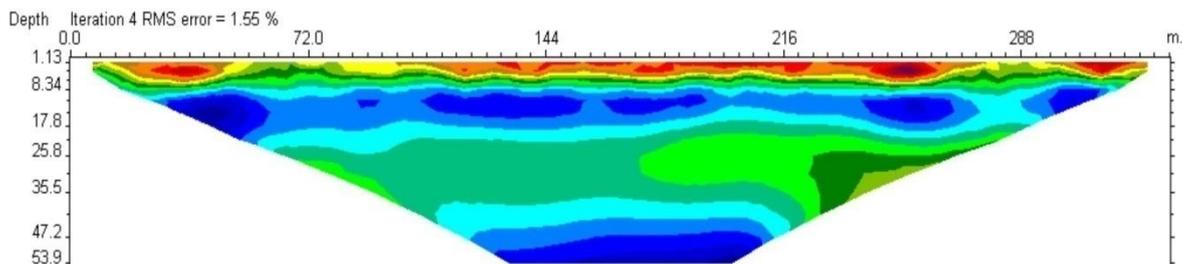


Шкала удельных сопротивлений в Омм

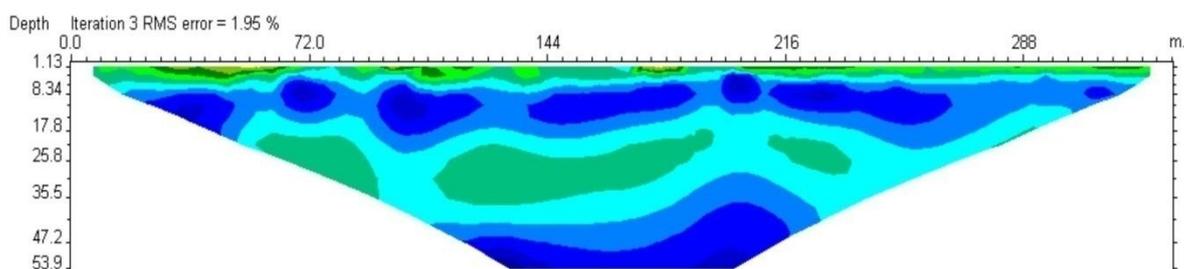


Рисунок 6.3 – Геоэлектрические разрезы по профилям № 1, № 2, № 3

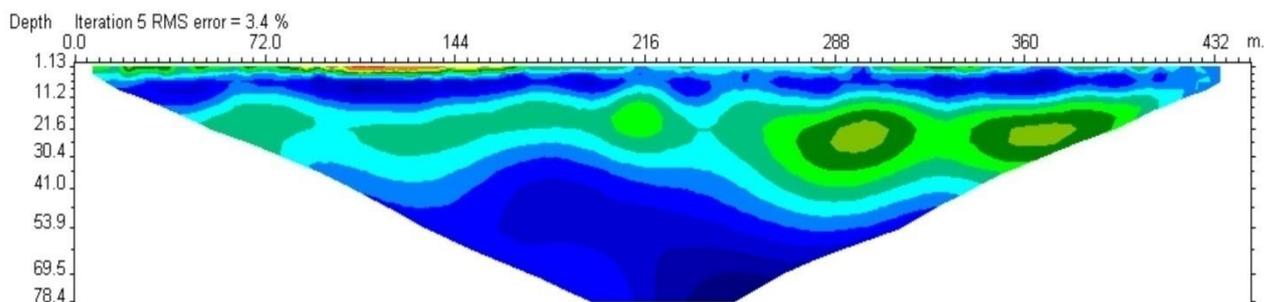
Профиль №5



Профиль 6



Профиль №9

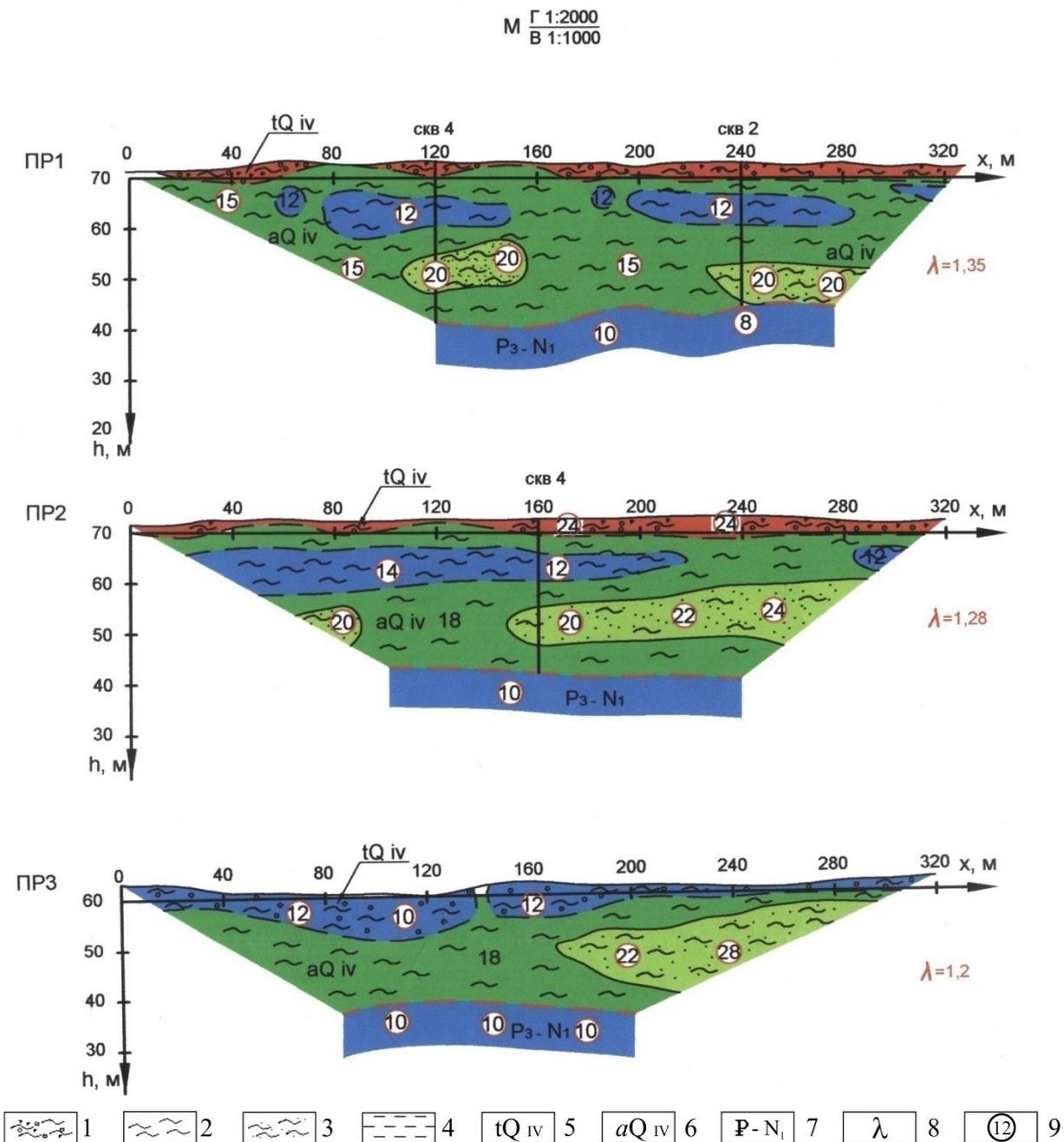


Шкала удельных сопротивлений в Омм



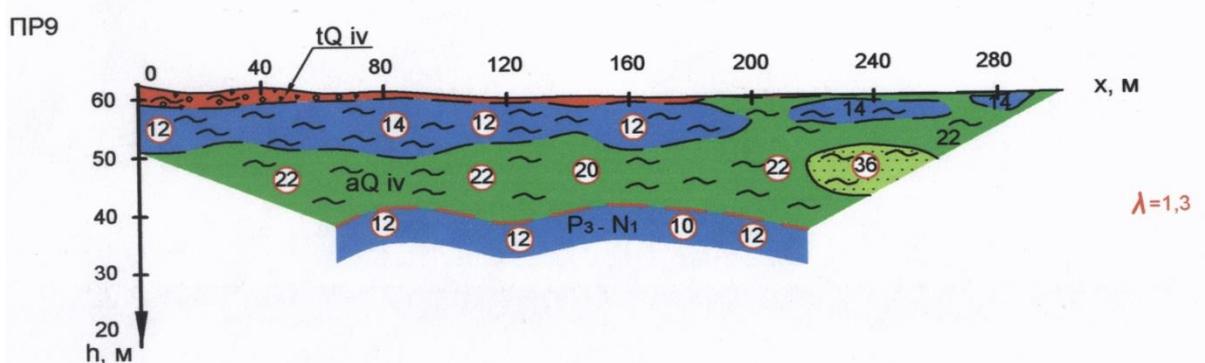
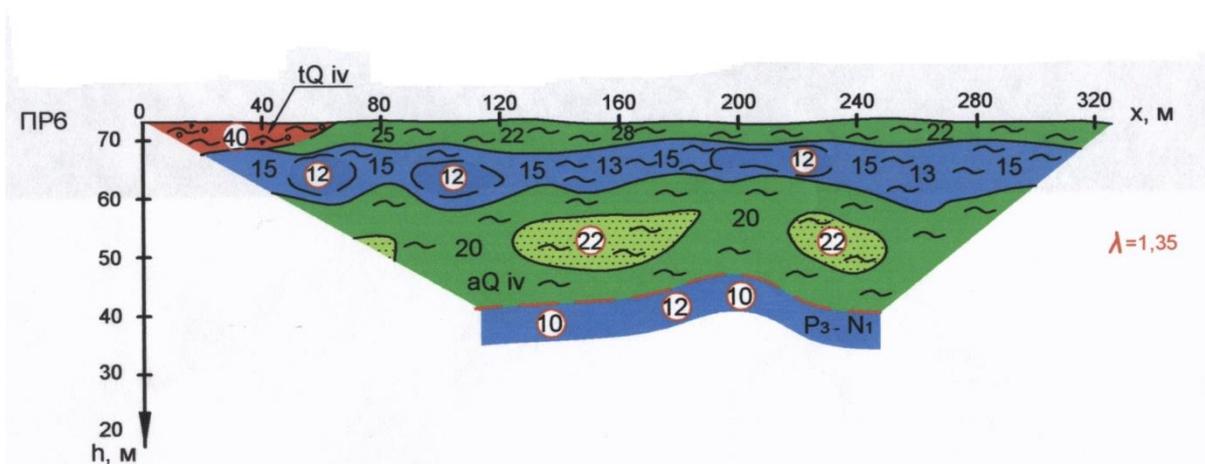
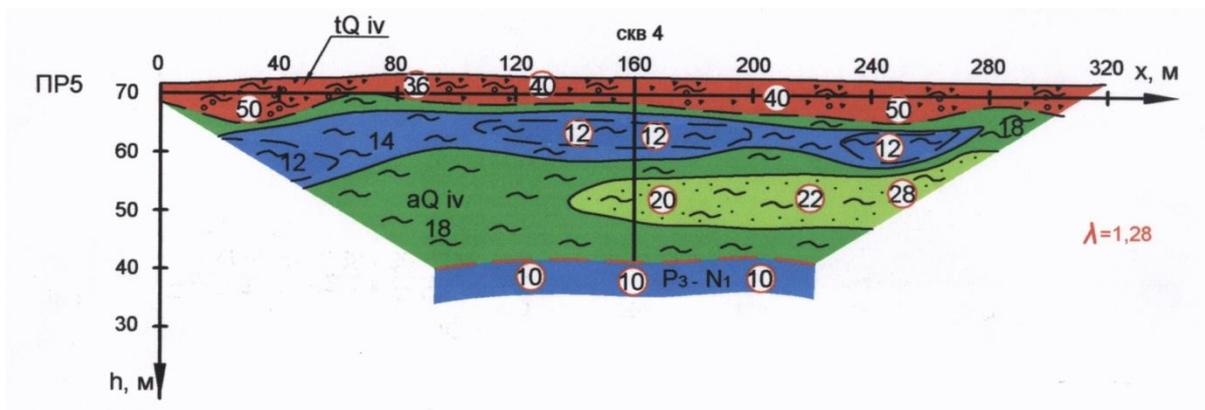
Рисунок 6.4 – Геоэлектрические разрезы по профилям № 5, № 6, № 9

После истолкования геоэлектрических разрезов и наполнения их геологическим содержанием, привязки электрических горизонтов к литологическим комплексам с учётом коэффициента анизотропии по слоям построены 32 геолого-геофизических разреза. Здесь представлены окончательные разрезы по трём профилям (рисунки 6.5, 6.6), на которых видны условия и характер залегания основных инженерно-геологических комплексов оползневого массива.



1 – насыпной грунт; 2 – глины, глинистые породы; 3 – песчано-глинистые отложения; 4 – аргиллитоподобные суглинки; 5 – техногенные четвертичные отложения; 6 – отложения четвертичного возраста; 7 – олигоцен-миоценовые отложения (глины и аргиллитоподобные суглинки); 8 – значения коэффициента анизотропии, 9 – значения удельного сопротивления.

Рисунок 6.5 – Геолого-геофизические разрезы для профилей 1, 2, 3



1 – насыпной грунт; 2 – глины, глинистые породы; 3 – песчано-глинистые отложения; 4 – аргиллитоподобные суглинки; 5 – техногенные четвертичные отложения; 6 – отложения четвертичного возраста; 7 – олигоцен-миоценовые отложения (глины и аргиллитоподобные суглинки); 8 – значения коэффициента анизотропии, 9 – значения удельного сопротивления.

Рисунок 6.6 – Геолого-геофизические разрезы для профилей 5, 6, 9.
(Мониторинговые наблюдения профилей 1, 2, 3)

На площадях оползневого склона, примыкающих к бровке южного борта разреза «Восточный», комплексы располагаются сверху вниз следующим образом:

1. Насыпные грунты (tQ_{IV}), местами погребенный почвенно-растительный слой мощностью от 1 м до 10 м с удельным сопротивлением $34 \div 100$ Ом·м.

Глины, суглинки, песчано-глинистые и песчано-гравийные отложения (aQ_{IV}) мощностью до 30 м с удельным сопротивлением от 14 до 34 Ом·м; глины и суглинки тугопластичные полутвёрдые имеют сопротивления 14÷20 Ом·м, песчано-глинистые и песчано-гравийные отложения – 20÷34 Ом·м; среди этого комплекса вблизи поверхности уверенно выделяются линзы мягкопластичных глин с сопротивлением 10÷15 Ом·м и мощностью до 10 м.

2. Третичные глины, мягкопластичные до текучепластичных (N_1), сильно обводнённые аргилитоподобные суглинки (P_3-N_1), мощность более 20 м, удельные сопротивления изменяются в пределах от 8 до 12 Ом·м.

Геологическое строение верхних двух комплексов характеризуется разными изменениями условий вдоль склона: наблюдаются частые фациальные замещения и выклинивания слоёв. Линзы мягкопластичных глин имеют локальное распространение. Переход тугопластичных глин вблизи поверхности в мягкопластичные происходит во времени.

Особый интерес среди пород второго комплекса представляют линзы мягкопластичных глин и суглинков. На профилях, которые расположены у бровки борта, они имеют локальное распространение. В середине склона и, особенно, ближе к выработанному пространству, линзы становятся более протяжёнными и мощность их увеличивается. Такая закономерность прослеживается не только по площади оползневого склона, но и во времени. Так, по данным режимных наблюдений с интервалом в шесть месяцев на профилях ПР 1, 2, 3 (повторные ПР 6, 5, 9), видно, что общая протяжённость мягкопластичных пород увеличилась на 68 м (ПР 6), 44 м (ПР 5) и 88 м (ПР 9). При этом увеличилась и мощность глин примерно на 2–3 м. Отмеченные закономерности представляют факторы развития оползневых процессов.

На площадях, примыкающих к мульдовой части разреза, наблюдается другая последовательность залегания комплексов.

– Насыпной грунт представлен видоизмененными до рыхлых песчаными, песчано-гравийными смесями, супесями с обломками пород различного состава (tQ_{IV}). Мощность их местами достигает 24 м, удельные сопротивления изменяются в диапазоне 20÷80 Ом·м.

– Угленосные отложения (P_3-N_1), сложенные переслаивающимися аргиллитами, алевролитами, песчаниками и бурыми углями; комплекс сильно обводнён и местами выходит на поверхность, удельные сопротивления изменяются от 8 до 18 Ом·м.

По направлению к мульде гидрогеологические условия характеризуются активной разгрузкой угленосного водоносного горизонта в вышележащие отложения. Минерализация вод повышается и поэтому удельные сопротивления местами уменьшаются. Здесь установлено пространственное поведение кровли водонасыщенной толщи, которая является поверхностью скольжения потенциального оползня.

Главным результатом проведённых исследований является выделение ослабленных контактов, связанных с кровлей мягкопластичных глин или с кровлей водонасыщенных песчано-гравийных, песчано-глинистых пород. Закономерно-

сти поведения ослабленных контактов в пространстве и времени используются геологической службой разреза для оценки развития оползневых процессов. Планируется продолжение работ на Бикинском бурогольном месторождении с учетом рекомендаций по применению метода электрической томографии при оценке и прогнозировании опасных геологических процессов. Следует отметить, что бурение инженерно-геологических скважин на склонах буртов выполнить невозможно и поэтому результаты работ электрической томографией являются весьма ценными для принятия противооползневых мероприятий.

7 Определение термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения на основе математического моделирования и измерений на устье добычных скважин

7.1 Проблемы разработки месторождений парогидротерм Камчатки

Использование глубинного тепла Земли является динамично и устойчиво развивающимся направлением освоения нетрадиционных источников энергии [46, 47], в ряде регионов успешно конкурирующим с традиционными видами энергетики. Геотермальная энергетика Камчатки успешно развивается в условиях конкуренции с тепловыми электростанциями, использующими в качестве топлива природный газ, даже при наличии преференций по газоснабжению, при том, что в мировой практике преференции принято предоставлять нетрадиционным направлениям энергетики. Кроме энергетического использования геотермальные флюиды представляют ценность по компонентному составу. Генезис многих месторождений полезных ископаемых связан с гидротермальной деятельностью, поэтому геотермальные флюиды можно рассматривать как непосредственный источник сырья, использование которого позволяет миновать длительную стадию формирования месторождений полезных ископаемых в естественных условиях. С энергетической точки зрения и с учетом ценности компонентного состава для практического использования наиболее привлекательны высокотемпературные флюиды. В большинстве случаев высокотемпературные флюиды представлены смесью воды и водяного пара, являясь объектом добычи на месторождениях парогидротерм.

Геотермальная энергетика России представлена только Дальневосточным регионом, в котором осуществляется промышленная разработка четырех месторождений парогидротерм, двух на Камчатке и двух на Курилах (рисунок 7.1). Россия, имея один из самых высоких потенциалов в мире, судя по величине установленных мощностей геотермальных электростанций [46], занимает по масштабам вовлечения в разработку месторождений парогидротерм скромное место в середине второго десятка. На Камчатке расположено 91 % установленных мощностей геотермальной энергетики России, что позволяет использовать ее опыт для характеристики проблем разработки месторождений парогидротерм как Дальневосточного региона, так и России в целом.



1 – Мутновское, 2 – Паужетское, 3 – Океанское, 4 – Горячий Пляж
 Рисунок 7.1 – Разрабатываемые месторождения парогидротерм России

Первое месторождение парогидротерм в России было вовлечено в разработку в 1966 г. (Паужетское), освоение которого осуществлялось при значительном содействии научных учреждений. При этом научные разработки делали акцент на оценку запасов, который логически был оправдан при переходе к изучению новых объектов – Большебанного, Кошелевского, Мутновского месторождений на Камчатке. Изучение вопросов разработки [48] носило поверхностный характер.

В последние два десятилетия существенно снизился интерес со стороны научных учреждений к вопросам практической геотермии, вообще, и разработки месторождений парогидротерм, в частности. Вместе с тем, именно в этот период началась разработка трех новых месторождений, включая Мутновское, обеспечивающее теплоносителем две геотермальные электростанции (ГеоЭС), суммарной установленной мощностью 62 МВт, что составляет 74 % геотермальной энергетики России, и характеризующееся наиболее широким спектром проблем, выявленных в ходе освоения. В настоящее время практика освоения месторождений парогидротерм опережает научные разработки, возникающие проблемы часто решаются методом проб и ошибок. Камчатский опыт позволяет выделить четыре группы проблем разработки месторождений парогидротерм, относящихся к мониторингу, промышленному оборудованию, технологиям эксплуатации геотермального резервуара, социально-экономическим аспектам.

Некоторые технологии освоения месторождений парогидротерм России заимствованы из мировой практики. Вместе с тем следует отметить отличие ранее практиковавшегося отечественного и западного подходов к освоению геотермальных ресурсов. В СССР промышленному освоению месторождений предшествовала детальная разведка с жесткой процедурой подсчета запасов, требующая существенных затрат, сопоставимых с затратами на строительство самой ГеоЭС. В процессе разработки месторождений требовалось продолжение разведочных работ с целью пересчета и повышения категорий запасов. Западный подход к оценке запасов существенно экономней, в нем широко используются высокотехнологичные и расчетные методы, он базируется на ограниченном числе разведочных скважин и не требует вывода на поверхность теплоносителя в полном объеме. Экономия на разведке увеличивает риск вложения средств в объекты, не обеспеченные ресурсной базой. Характерным примером является практика освоения месторождения Гейзеры (США) – установленная мощность электростанций с 1990 г. по 2004 г. уменьшилась на 346 МВт [49] вследствие истощения геотермального резервуара [50]. Объем демонтированного оборудования в четыре раза превосходит установленную мощность всех геотермальных электростанций России.

Первоначально методы мониторинга разработки месторождений парогидротерм России активно и достаточно успешно заимствовались из практики освоения обычных гидрогеологических объектов. Этому способствовало то, что первое разрабатываемое месторождение (Паужетское) имело термоводоносный комплекс с однофазным жидким флюидом. Отличия начинались только в стволе скважин, работающих в режиме парлифта. Но и в этом случае была найдена аналогия между уровнем начала парообразования и динамическим уровнем при откачке из обычной артезианской скважины [51].

Мониторинг уровней воды (статических – в наблюдательных скважинах, динамических – в добычных) в гидрогеологии дает основную информацию о фильтрационных потоках в продуктивных горизонтах. Для некоторых скважин Паужетского месторождения применение «уровневого» подхода вызвало затруднения. В добычных скважинах уровень начала парообразования оказался трудноопределимым, а в ряде случаев парообразование распространялось на продуктивный коллектор. В некоторых наблюдательных скважинах столб воды, вследствие теплопритока от горячих пород, находится в состоянии непрерывного кипения, что затрудняет его измерение и вносит неоднозначность, в связи с неизвестной плотностью, его трактовки. Особенно остро сложности такого подхода проявились при освоении Мутновского месторождения, где распространение парообразования в коллектор и интенсивное кипение в наблюдательных скважинах – обычные явления. Поэтому, вместо «уровневого» подхода используется мониторинг давления на забое, технологии которого развиты при освоении аналогичных месторождений мира, причем измерения проводятся только в статических условиях. Измерения в работающих скважинах сложны и принципиально не возможны без изменения режима работы скважин.

Для измерения забойного давления применяют специальные глубинные манометры. Процедура измерения трудоемка, манометры и сопровождающее

оборудование дорогостоящие. Практика показала, что мониторинг забойного давления удобнее осуществлять с помощью капиллярной трубки [52]. В скважину опускается тонкая трубка, которая заполняется газом. Забойное давление определяется как сумма давления в капиллярной трубке на устье и статического давления столба газа в трубке. Газ находится в однофазном состоянии, следовательно, его плотность нетрудно определить. Кроме того, плотность газа мала, поэтому погрешности в ее определении сказываются на окончательном результате несущественно, особенно при определении динамики забойного давления.

Полезную информацию о фильтрационных потоках позволяют получить трассерные исследования, активно используемые во всем мире. В скважину закачивается вода, содержащая в растворенном виде индикатор, и в добычных скважинах осуществляется контроль химического состава теплоносителя на предмет содержания индикатора. Именно таким образом была установлена ранее отрицавшаяся гидродинамическая связь участков Дачный и Верхне-Мутновский Мутновского месторождения.

Дополнительную информацию о состоянии системы разработки месторождения дает мониторинг химического состава теплоносителя [53]. Анализируя химический состав при изменении режима эксплуатации, можно выявить направления ювенильных и метеорных фильтрационных потоков. Отметим, что богатый отечественный опыт в области геохимических исследований на месторождениях парогидротерм слабо отражен в методической базе решения практических задач.

Разработка Мутновского месторождения с двухфазной транспортировкой теплоносителя обнаружила проблему определения расходных параметров добычных скважин [54]. В настоящее время на месторождении используются методы, предполагающие переключение потока от магистрального трубопровода в измерительную установку. При этом неизбежны изменения режима работы. Соответствие режимов эксплуатации и измерения обеспечивается регулировкой устьевого давления. Однако, как показывает опыт опробования скважин, одному и тому же давлению могут соответствовать существенно отличающиеся расходы. Предложенный в работе [54] способ напорной трубки не столько решил проблему (его использование требует наличие участков стабилизации структуры потока, а для этого необходима радикальная реконструкция устьевого обвязки), сколько показал возможность решения.

К промысловому оборудованию относятся эксплуатационные скважины и система транспортировки теплоносителя. Производительность добычных скважин со временем снижается, появляется дефицит теплоносителя и появляется необходимость повышения эффективности использования существующего фонда скважин. Ключевым вопросом, от которого зависят другие решения, является выбор способа транспортировки теплоносителя от скважин до станции. Первоначально на Паужетском месторождении сепарация смеси осуществлялась вблизи скважин, пар по трубопроводу поступал на станцию, а вода сливалась в основном на рельеф и частично шла в отопительную систему. Затем к системе транспортировки воды добавились трубопроводы к скважинам закачки и к недавно возведенному блоку с бинарной установкой. Кроме того, по ряду

причин три из числа последних переведенных из резерва скважин (103, 122 и 131) имеют сепараторы на значительном удалении от устья (до 400 м), т. е. частично имеет место транспортировка пароводяной смеси.

Первым проектом обустройства промысла на Мутновском месторождении предусматривалась комбинированная схема транспортировки теплоносителя – от скважин до групповых сепарационных станций транспортируется смесь, далее осуществляется отдельная транспортировка. Затем, в том числе ввиду нерешенных проблем первого проекта обустройства, была принята концепция блочных станций (отдельные энергоблоки предполагалось устанавливать на компактных кустах скважин). Эта концепция позволила уйти от отдельного проектирования промысла. Сепараторы вошли в состав блочных систем подготовки пара. В итоге блочная концепция была реализована лишь частично, тем не менее, решение о транспортировке пароводяной смеси осталось.

Различные способы транспортировки характеризуются своим набором достоинств и недостатков. Вопрос о выборе способа транспортировки рассмотрен в работах [55, 56]. В целом, наиболее эффективно схемой транспортировки следует считать комбинированную, позволяющую сочетать достоинства различных способов.

Повышение эффективности использования фонда скважин при двухфазной транспортировке достигается за счет замены П-образных компенсаторов на сильфонные, спрямления проложенных змейкой трубопроводов, ликвидацией нефункциональной запорной арматуры и т.д. При отдельной транспортировке – за счет улучшения условий транспортировки смеси до сепаратора, заменой сепаратора, перераспределением нагрузки между магистральными паропроводами и т.д. Практика решения этих вопросов на месторождениях Камчатки в 2011–20013 гг., не вызвала серьезных трудностей, что не исключает возможность совершенствования используемой научной базы. Отдельно следует отметить задачу ввода в эксплуатацию скважин с нестабильным режимом работы и низким верхним пределом устьевого давления. Опыт разработки Мутновского месторождения показал возможность решения этой задачи путем реконструкции ствола скважины [57]. Важный вопрос, до сих пор не нашедший однозначного решения – оптимизация системы сбора и транспортировки сепарата на Паужетском месторождении.

Отдельно следует указать на единую для подземных коллекторов, промышленного оборудования и элементов энергетического оборудования проблему – солеотложение и коррозия. В связи со спецификой химического состава, эта проблема более актуальна для Мутновского месторождения. Опытным путем обнаружено, что повышенное солеотложение имело место в скважинах и трубопроводах, добывающих теплоноситель из «паровой шапки». Также опытным путем было установлено, что в случае объединения потока из «паровой шапки» с пароводяной смесью, добываемой из глубоких горизонтов, солеотложение существенно уменьшается. В целом, изучение процессов солеотложения и коррозии и разработки технологий их предотвращения является актуальным.

Важнейшим вопросом эксплуатации геотермального резервуара является закачка отработанных вод. Первоначально разработка Паужетского месторож-

дения осуществлялась со сбросом сепарата и конденсата в поверхностные водотоки. Затем сепарат частично стал закачиваться в нагнетательные скважины на периферии месторождения по ходу фильтрационного потока. Объективная оценка опыта закачки затруднительна, поскольку управление «Камчатскбургеотермия», осуществляющее разработку месторождения, поставлено в экономические условия, затрудняющие обеспечение закачки. Позиция разработчика месторождения – закачка негативно отражается на энтальпии добываемого теплоносителя. Тем не менее, опыт первых лет проведения закачки на Паужетском месторождении, когда разработчик еще не был поставлен в условия борьбы за выживание, а также мировой опыт склоняется в пользу положительного влияния закачки. Именно поэтому при проектировании разработки Мутновского месторождения предусматривалась закачка как сепарата, так и конденсата станций в полном объеме. Однако, современные условия хозяйствования таковы, что и разработчик Мутновского месторождения (ООО «Геотерм») ставит вопрос о возможности сброса отработанных вод в поверхностные водотоки. Все это говорит о том, что вопрос обоснованности закачки на месторождениях парогидротерм Камчатки является актуальным, и для выработки решений требуется привлечение широкого круга специалистов – гидрогеологов, энергетиков, химиков, экологов.

Падение эксплуатационных параметров добычных и нагнетательных скважин, обуславливает необходимость обновления фонда скважин. На Паужетском месторождении более тридцати лет строительство новых скважин не осуществлялось. В настоящее время задействованы все ранее находившиеся в резерве скважины и вопрос о возобновлении бурения актуален. На Мутновском месторождении до 2014 года была реализована программа обновления фонда скважин, при этом использовалось наклонное бурение. Как показал опыт, при выборе места заложения, глубины бурения и угла наклона ствола скважины, существенную помощь способно оказать математическое моделирование процессов тепломассопереноса в термоводоносном комплексе. Камчатские месторождения относятся к трещинно-жильному типу с ярко выраженной анизотропией. Если на начальных стадиях разведки математическое моделирование резервуара малоэффективно, то на стадии разработки, когда имеется достаточно информации о строении резервуара, эффективность моделирования существенно возрастает.

Еще на ранних этапах разведки Мутновского месторождения на участке «Дачном» была выделена «паровая шапка» – область, в верхней части геотермального резервуара, содержащая флюид, преимущественно в газовом состоянии. «Паровую шапку» вскрывали две неглубокие скважины, долго использовавшиеся в качестве добычных (016 и 026, глубина 547 и 466 м, скважина 016 к настоящему времени ликвидирована). Вопрос о целесообразности бурения неглубоких, следовательно, относительно дешевых, эксплуатационных скважин для вскрытия паровой шапки до сих пор остается открытым.

В настоящее время разработка месторождений парогидротерм Камчатки находится в условиях сложной конкурентной среды. Разработка Паужетского месторождения находится под угрозой закрытия в связи с непомерными штра-

фами за выбросы вредных компонентов, превышающими плату за добытый теплоноситель. Разработка Мутновского месторождения ведется в условиях лоббирования интересов газовой отрасли.

Месторождения парогидротерм находятся в отдаленных районах с повышенным содержанием вредных компонентов в окружающей среде, связанным с естественной разгрузкой (источники, паровые струи, фумаролы). Выбросы естественной разгрузки существенно превышают техногенные. Это указывает на целесообразность отличия подходов к оценке влияния техногенных выбросов на окружающую среду для месторождений парогидротерм и объектов традиционной энергетики, расположенных вблизи крупных населенных пунктов. Более того, опыт показывает, что разработка месторождений сопровождается уменьшением естественной разгрузки, т. е. снижаются естественные выбросы. Это также указывает на необходимость особого подхода к определению платы за техногенные выбросы.

Мутновские ГеоЭС работают в едином энергоузле с традиционными ТЭЦ. Доля в выработке электроэнергии ГеоЭС составляет около 25 %, себестоимость продукции – существенно ниже. Скважины на месторождении работают в режиме парлифта, что ограничивает возможность регулировки объемов добычи, и делает ее крайне нежелательной, поскольку изменение режима работы скважины сопровождается термическими нагрузками на обсадные колонны, что сокращает срок службы скважины. Поэтому месторождение эксплуатируется с постоянным расходом. Вместе с тем в последнее время Мутновские ГеоЭС часто стали разгружать во время пикового падения нагрузки в энергоузле. Излишки пара сбрасываются в атмосферу. Заметим, что уменьшение нагрузки на традиционных ТЭЦ сокращает общие эксплуатационные затраты, по крайней мере за счет сокращения платы за топливо, а на ГеоЭС – только увеличивает затраты в связи с обеспечением переходных режимов. Однако преференции по газоснабжению подталкивают энергетиков к неразумному, с точки зрения здравого смысла, решению о разгрузке ГеоЭС.

Таким образом, главные проблемы разработки месторождений парогидротерм Камчатки в настоящее время связаны с неблагоприятной конкурентной средой. Необходима разработка адекватных условиям разработки месторождений нормативов для расчета платы за выбросы. Необходима разработка мер, обеспечивающих принятие разумного, с точки зрения здравого смысла, а не сложившихся обстоятельств, решения об эксплуатации ГеоЭС в базовом режиме (с постоянной мощностью). Одной из главных проблем разработки Паужетского месторождения в ближайшие годы может стать необходимость обновления фонда существующих скважин. Кроме того, имеется ряд задач научно-методического характера:

1. Создание адекватной нормативно-методической базы по контролю за разработкой месторождений;
2. Совершенствование методов расчета систем транспортировки теплоносителя, включая оптимизацию системы сбора и транспортировки сепарата;
3. Оценка влияния возвратной закачки на Паужетском и Мутновском месторождениях;

4. Разработка рекомендаций по эксплуатационному бурению на Паужетском и Мутновском месторождениях, в том числе решение вопроса о целесообразности бурения в «паровую шапку»;

5. Исследование процессов солеотложения и коррозии в элементах оборудования и продуктивных коллекторах и разработка рекомендаций по минимизации их влияния.

Отдельно следует отметить задачу обоснования метода определения термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения на основе математического моделирования и измерений на устье добычных скважин, без решения которой невозможно эффективное решение трех последних из пяти пронумерованных задач.

7.2 Оценка условий фильтрации в продуктивном пласте Паужетского месторождения парогидротерм

Рост потребности Паужетского энергоузла в последние годы вызвал необходимость ввода в эксплуатацию всех имевшихся в резерве добычных скважин. Работа с максимальными расходами обозначила проблему – снижение со временем объемов вырабатываемой электроэнергии. Для выяснения причин снижения выработки и принятия мер по стабилизации и увеличению добычи в июне-июле 2013 г. были проведены комплексные исследования промысла и оборудования станции, включавшие, в том числе, опробование значительной части добычных скважин, работающих в режиме парлифта, с целью получения новых графиков производительности. Предыдущие графики производительности вновь опробованных скважин датированы семидесятыми годами прошлого века.

Новые измерения выявили небольшое снижение расхода скважин при номинальном устьевом давлении и существенное снижение максимального рабочего давления. Заметим, что снижение максимального рабочего давления также сказывается на общей производительности промысла, поскольку является причиной вывода из эксплуатации скважин, неспособных поддерживать необходимый уровень давления.

Выявленные негативные тенденции можно связать со снижением в процессе эксплуатации давления («сработкой») в питающей скважине подземном коллекторе и со снижением его фильтрационных свойств. От того, какой из указанных факторов является доминирующим, зависит выбор рациональной схемы дальнейшей разработки месторождения. Сработка в коллекторе практически исключает возможность положительного результата от строительства новой или реконструкции имеющейся скважины на эксплуатируемом участке, т. е. определяет экстенсивный подход к разработке месторождения. Снижение фильтрационных свойств коллектора более вариативно в принятии решений по дальнейшей разработке, и, что весьма важно с учетом существенных затрат на бурение, допускает возможность повышения верхнего предела давления путем сравнительно недорогой реконструкции скважин [58].

В настоящей работе исследуется влияние снижения давления и водопроницаемости в питающем коллекторе на график производительности на примере типовой скважины Паужетского месторождения, и, с учетом выявленных в процессе опробования изменений производительности, определяются измене-

ния условий в продуктивном пласте данного месторождения. Для скважин, имеющих общие точки по расходам при новых и прежних опробованиях, определены конкретные изменения условий в питающем коллекторе.

Краткая характеристика Паужетского месторождения. Паужетское месторождение парогидротерм находится в юго-западной части Камчатского полуострова в 30-ти км к востоку от п. Озерновский и с. Запорожье, расположенных на побережье Охотского моря в устье р. Озерной. Месторождение является частью гидротермальной системы, приуроченной к артезианскому склону и межгорному артезианскому бассейну полураскрытого типа с тектоногенной системой дренирования и разобщенными очагами естественной разгрузки теплоносителя, общая тепловая мощность которых оценена в 105 МВт [59]. Месторождение занимает северную, наиболее доступную для изучения и освоения площадь системы, протягиваясь полосой северо-западного простирания шириной до 2,5 км в нижней части западного склона хребта Камбального по правому борту р. Паужетки, русло которой практически совпадает с осевой линией крупного субмеридионального разлома, представляющего собой западную границу Паужетской вулканотектонической депрессии. На севере она ограничивается крупным субширотным разломом, выраженным на поверхности долиной р. Озерной.

Важную роль в формировании условий циркуляции высокотемпературных вод месторождения играют тектоника и наличие многочисленных кислых экструзий, внедрение которых сопровождалось дроблением горных пород и образованием трещин. Термоводоносный комплекс представлен верхнемиоцен-плейстоценовыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями, вскрывается скважинами преимущественно в интервале абсолютных отметок от –50 м до –550 м, включает напорные воды с температурой, достигающей по измеренным данным 228,4 °С. Строение коллектора, характер водовмещающей среды и высокая плотность тектонических нарушений определяют пластовый порово-трещинный, трещинно-поровый и трещинно-жильный типы циркуляции подземных вод. Для резервуара характерна двойная пористость, обусловленная сочетанием водопроницаемых трещин и относительно монолитных блоков пород. Доля активного трещинного пространства в общем объеме резервуара оценивается величиной 0,28. Среднее расстояние между продуктивными зонами составляет 105 м. Проводимость коллектора характеризуется значениями 35–94 Дм, что при температуре 190 °С соответствует водопроницаемости 190–450 м²/сут. Пористость пород, слагающих термоводоносный комплекс, колеблется от 0,08 до 0,2.

Термоводоносный комплекс перекрывается относительно водоупорным горизонтом верхнеплиоцен-плейстоценовых вулканогенно-осадочных отложений, мощностью 35–170 м. Данный горизонт, с одной стороны, способствует локализации месторождения, но с другой – имеет фильтрационные окна тектонического происхождения, обеспечивающие естественную разгрузку парогидротерм на дневную поверхность в виде горячих и кипящих источников, парогазовых струй, гейзеров и прогретых участков почвы. Фундаментом месторождения служит термопроводящий относительно водоносный комплекс олигоцен-

миоценовых вулканогенно-осадочных, который распространён повсеместно в пределах Паужетской вулканотектонической депрессии на глубине более 650 м и вскрыт большинством скважин месторождения.

Паужетские парогидротермы относятся к типу азотно-углекислых щелочных терм хлоридного натриевого состава с минерализацией 2,5–3,7 г/л. Характеризуются повышенными концентрациями кремниевой кислоты, щелочных компонентов и бора, обладают широким спектром микрокомпонентов. Балансовые эксплуатационные запасы теплоносителя (пароводяной смеси), утвержденные по состоянию на 01.12.2007 г. на 25-летний расчётный срок эксплуатации, составляют 424,5 кг/с (из них 35,5 кг/с – пар), в том числе: по категории А – 142,2 (10,2) кг/с; по категории В – 43,7 (3,5) кг/с; по категории С₁ – 124,7 (13,4) кг/с; по категории С₂ – 113,9 (8,4) кг/с. Существующий фонд из 10 добычных скважин и система их обвязки по состоянию на лето 2013 г. обеспечили поставку к ГеоЭС 27,7 кг/с пара.

Методика определения термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте. С практической точки зрения представляют интерес два вопроса: что происходит с термоводоносным комплексом, и каковы пути дальнейшей разработки месторождения. На первый взгляд, ответ на первый вопрос легко найти по пьезометрическим данным в наблюдательных скважинах. Однако в нашем случае есть существенные затруднения в использовании данных по наблюдательным скважинам. Во-первых, термоводоносный комплекс характеризуется ярко выраженной анизотропией и связь конкретной наблюдательной скважины с эксплуатационным коллектором может быть весьма малой. Во-вторых, скважины, имеющие хорошую связь с эксплуатационным коллектором не используются в качестве наблюдательных, они или эксплуатируются, или относительно недавно выведены из эксплуатации. В-третьих, в скважинах, имеющих хорошую связь с эксплуатационным коллектором, пьезометрические наблюдения затруднены вследствие кипения в столбе жидкости. Поэтому в настоящей работе выводы относительно условий в коллекторе производятся на основе результатов измерений на устье и математического моделирования течения в скважине. Ответ на второй вопрос предполагает анализ влияния динамики параметров в коллекторе на устьевые параметры скважин, для чего также целесообразно использовать математическое моделирование течения в скважине.

В настоящей работе для расчета течения в скважине использовалась модель WELL-4 [58]. Модель описывает как чисто водяное, так и пароводяное течение. Для описания пароводяного течения используется интегральный метод и двухскоростная модель. Основу модели составляют уравнения неразрывности, движения и энергии:

$$dG = 0, \quad (7.1)$$

$$\rho'' \varphi'' dv'' + \rho'(1-\varphi) v' dv' + \frac{(v''-v')}{\pi R^2} dG'' = -dp - \frac{2\tau_w}{R} dz + (\rho'' \varphi + \rho'(1-\varphi)) g_z dz, \quad (7.2)$$

$$dh + de - g_z dz = dq, \quad (7.3)$$

где G и G'' – массовые расходы смеси и пара, ρ'' и ρ' – плотности пара и воды, φ – истинное объемное паросодержание, v'' и v' – скорости пара и воды, R – радиус скважины, p – давление, τ_w – касательное напряжение на стенке, z – направленная по потоку координата, g_z – проекция вектора ускорения свободного падения на z , h – удельная энтальпия смеси, e – удельная кинетическая энергия, dq – изменение удельной энергии потока за счет теплового потока от стенок скважины.

Предполагается возможность реализации трех режимов двухфазного течения: с малым паросодержанием, переходный и с большим паросодержанием. К первому режиму относятся структуры с непрерывной жидкой фазой (пузырьковая, снарядная и т.д.), к последнему – с непрерывной газовой фазой (общей структурой данного режима может считаться дисперсно-кольцевая). Отметим ключевые моменты модели.

Существование режима с непрерывной газовой фазой, ассоциирующегося с дисперсно-кольцевой структурой, требует выполнения двух условий: паросодержание должно быть достаточным для формирования ядра потока; скорость в ядре должна быть достаточной для удержания жидкой пленки на стенке. Формализация данных условий осуществляется соотношениями:

$$\beta > 0.8, \quad (7.4)$$

$$\frac{\rho'' w^2}{g(\rho' - \rho'')2R} > 1, \quad (7.5)$$

где β – объемное расходное паросодержание, w – приведенная скорость смеси, определяемая также как скорость, соответствующая гомогенной модели.

Переходным считается режим, в котором не достигнуты указанные условия, но скорость пара достигла критической скорости движения насыщенной воды, т. е. на структуру потока начинает влиять локальная критичность.

Принципиальными вопросами при описании газожидкостных течений является выбор формул, определяющих истинную скорость одной из фаз или коэффициент скольжения (отношение скоростей газа и жидкости) и касательного напряжения на стенке трубы. Для определения коэффициента скольжения при дисперсно-кольцевом течении используется формула З.Л. Миропольского [60], модифицированная с учетом стремления коэффициента скольжения к 1 при стремлении скоростей к критическим значениям.

$$s = 1 + \frac{13.5(1 - p/p^*)(1 - M^2)}{Fr^{5/12} Re^{1/6}}, \quad (7.6)$$

где s – коэффициент скольжения, p^* – давление в критической точке ($22.115 \cdot 10^6$ Па), Fr , Re и M – числа Фруда, Рейнольдса и Маха.

Для определения скорости пара при течении с малым паросодержанием используется хорошо известная формула [61], успешно применяемая для соот-

ветствующих структур

$$v'' = 1.2w + 0.35\sqrt{2gR(1 - \rho'' / \rho')}. \quad (7.7)$$

Скорость пара в переходном режиме определяется формулой [61]

$$v'' = w + v_c(1 - w/v_s), \quad (7.8)$$

где v_c – критическая скорость движения насыщенной воды, v_s – скорость пара, определяемая формулой (7).

Определение касательного напряжения для всех режимов осуществляется по формуле [62]

$$\tau = \lambda(\rho'' v''^2 \varphi + \rho' v'^2 (1 - \varphi))/8, \quad (7.9)$$

где λ – коэффициент трения.

Уравнения, соотношения и формулы (7.1)–(7.9), наряду с другими известными формулами, связывающими параметры газожидкостного течения в двух-скоростной модели [62], составили новую математическую модель, описывающую течение с изменяющимся по направлению движения массовым расходом смеси, названную WELL-4G.

Производительность пароводяной скважины зависит как от термогидродинамических процессов в ее стволе, так и от характеристики питающего коллектора. Для выявления влияния снижения пластового давления на график производительности давление на забое в пределах построения одного графика принималось постоянным, не зависящим от расхода, и менялось при переходе от одного графика к другому. Возможность получения расчетных графиков производительности при постоянном давлении на забое, достаточно хорошо согласующихся с опытными данными, показана в работе [63].

Для характеристики влияния снижения водопродовимости, статическое давление для всех графиков принималось неизменным, а менялись значения водопродовимости. При этом взаимосвязь расхода и забойного давления определялась хорошо известной формулой Дюпюи [64]:

$$G = \frac{2\pi km(p_s - p_t)}{g \ln(R_v / R)}, \quad (7.10)$$

где km – водопродовимость пласта; p_s и p_t – статическое и текущее давление на забое;

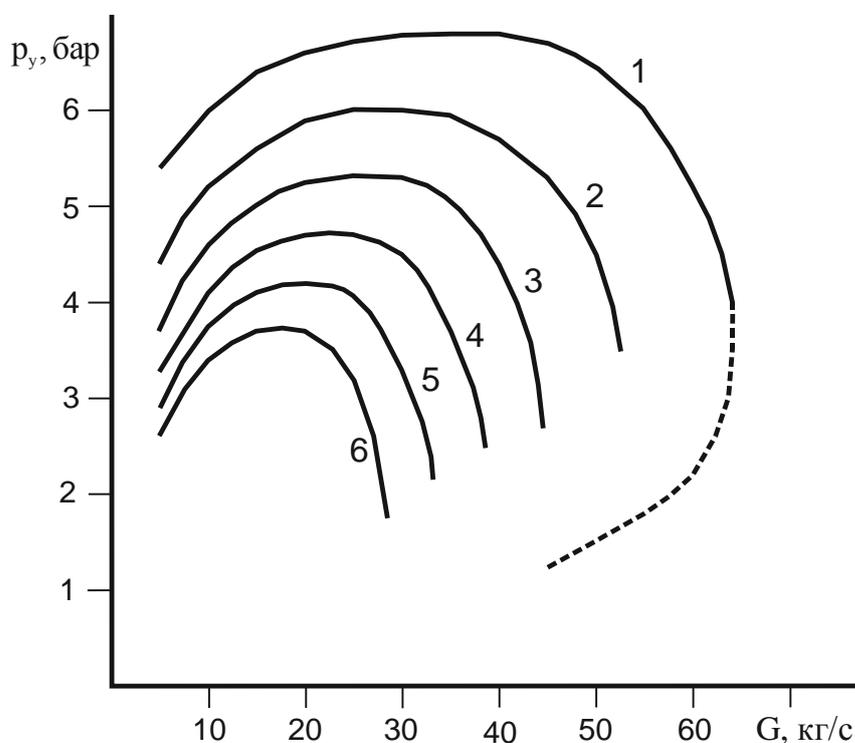
R_v – радиус воронки депрессии.

Для трех скважин, диапазон прежнего и нового опробования которых имеет общие точки по расходам, рассчитывались параметры в питающем коллекторе, соответствующие одним и тем же расходам. Учитывая, что при пароводяном течении расчет забойных параметров по устьевым является задачей, подверженной существенным погрешностям, связанным как с неточностью

расчетной модели, так и с погрешностями измерения исходных данных [62], из общего диапазона расходов выбиралось значение, соответствующее максимальному рабочему давлению. Увеличение устьевого давления сокращает перепад давления на пароводяном участке, тем самым, снижается абсолютная погрешность расчета забойного давления.

Влияние изменения термодинамических условий в питающем коллекторе на производительность типовой скважины. Внутренний диаметр типовой принимался 0,199 м, глубина до питающего коллектора – 500 м. Скважина считалась «прогретой», т.е. изменения энтальпии вследствие теплообмена с окружающими породами незначительны, энтальпия теплоносителя на устье 800 кДж/кг.

На рисунке 7.2 представлены расчетные графики производительности для различных забойных давлений. При этом в пределах одного графика забойное давление считалось неизменным, не зависящим от расхода (бесконечная водопроницаемость).



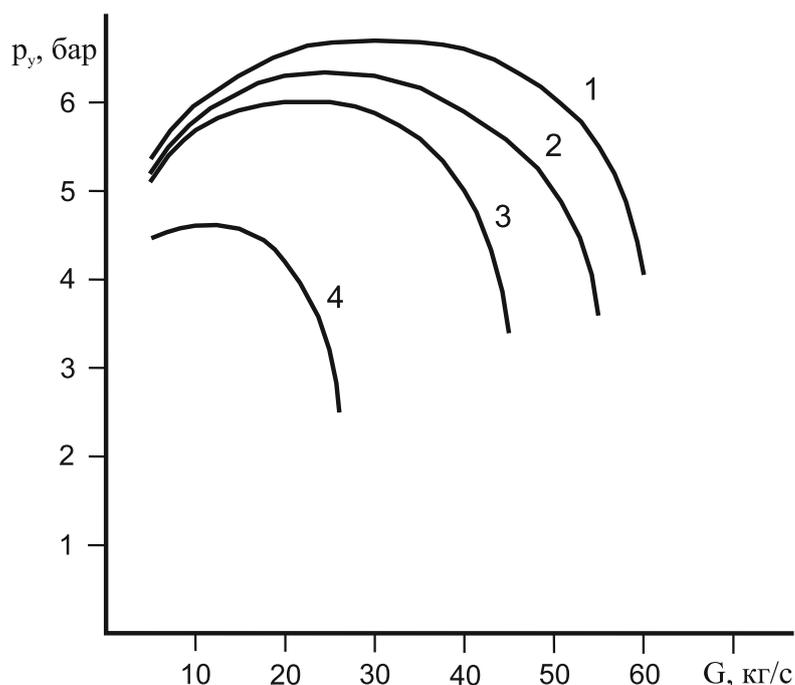
1 – 40 бар; 2 – 35 бар; 3 – 30 бар; 4 – 25 бар; 5 – 25 бар; 6 – 15 бар.

Рисунок 7. 2 – Расчетные графики производительности (зависимость устьевого давления от расхода) типовой скважины Паужетского месторождения при постоянном давлении на забое

Из графиков видно, что существует не только максимальное устьевое давление, но максимальный расход, соответствующий некоторому устьевому давлению. Снижение устьевого давления ниже соответствующего максимальному расходу не приведет к увеличению расхода, т. е. имеет место первая стадия критичности потока [62]. Ориентируясь на максимальное устьевое давление, график 1 наиболее подходит для описания характеристик скважин до

1979 г., график 4 – новым измерениям.

Забойное давление 40 бар соответствует положению статического уровня воды (при отсутствии кипения) ниже устья на 86 м, что согласуется данными до 1979 г. На рисунке 7.3 представлены графики производительности с притоком, рассчитанным по формуле (7.10), и начальным давлением 40 бар. Радиус воронки депрессии принимался равным 200 м. Ориентируясь на максимальное устьевое давление, график 1 наиболее подходит для описания характеристик скважин до 1979 г., график 4 – новым измерениям.



Водопроницаемость (km): 1 – 500 м²/сут; 2 – 100 м²/сут; 3 – 50 м²/сут; 4 – 10 м²/сут.

Рисунок 7.3 – Расчетные графики производительности типовой скважины Паужетского месторождения с притоком по формуле (7.10)

Заметим, что при давлениях около 3 бар график 4 на рисунке 7.3 показывает существенно меньший расход по сравнению с графиком 3 на рисунке 7.2. Поскольку за время эксплуатации изменения затронули в большей степени максимальное устьевое давление по сравнению с расходом при номинальном давлении эксплуатации (около 3,5 бар), наиболее вероятной причиной изменения характеристик следует считать снижение давления в продуктивном пласте.

Оценка условий фильтрации в продуктивном пласте Паужетского месторождения. Из шести испытанных в 2013 году скважин по ряду причин только три (103, 108 и 123) имели наложения по диапазону расходов с ранее проведенными испытаниями. Данные прежних и новых измерений представлены в таблице 7.1. Для минимизации погрешностей расчета пароводяного течения, для скважины 103 была выбрана точки с расходом 16,5 кг/с, для скважины 108–8,4 кг/с, для скважины 123–17,5 кг/с. Устьевые давления, соответствующие этим точкам в новых испытаниях, определялись интерполяцией. Результаты расчетов давления на верхней границе питающего коллектора представлены в

таблице 7.2.

Таблица 7.1 – Результаты опробования скважин Паужетского месторождения

Скважина / год опробования	Устьевое давление, бар	Расход, кг/с	Энтальпия, кДж/кг
103 1973 г.	5,2	27,7	775
	6,5	24,7	775
	7,4	16,5	775
103 2013 г.	4,3	27,5	808
	5,1	23,9	808
	5,6	19,8	808
	6,0	14,6	808
108 1975 г.	2,6*	26,4	783
	3,1*	24,9	783
	4,0	27,4	783
	5,2	22,7	783
	6,1	8,4	783
108 2013 г.	3,3	18,7	754
	3,4	17,7	754
	3,5	14,2	754
	3,5	10,7	754
	3,4	7,9	754
	3,4	6,7	754
	3,2	3,3	754
123 1978 г.	5,5	50,4	770
	6,5	33,4	791
	6,7	17,5	821
	6,2	11,0	816
123 2013 г.	4,2	24,7	879
	4,4	18,1	879
	4,4	13,7	879
	4,2	8,8	879

Данные таблицы 2 показывают существенное снижение пластового давления за время эксплуатации, для скважины 103–13,2 бара, для скважины 108–7,7 бар, для скважины 123–9,8 бар. Причем, для скважин 108 и 123 изменились условия в питающем пласте – раньше термодинамические параметры флюида на забое соответствовали однофазному, жидкому, состоянию, теперь – двухфазному состоянию. Т. е. за время эксплуатации зона двухфазного течения, ранее полностью располагавшаяся в стволе скважин, распространилась на продуктивный пласт.

* Наблюдались сильные пульсации давления.

Таблица 7.2 – Расчетные давления на верхней границе питающего коллектора

Скважина / глубина, м	Год	Устьевое давление, бар	Расход, кг/с	Энтальпия, кДж/кг	Давление в пласте, бар
103 320	1973	7,4	16,5	775	31,1
	2013	5,9	16,5	808	17,9
108 190	1975	6,1	8,4	783	12,8
	2013	3,4	8,4	754	5,7
123 260	1978	6,7	17,5	821	16,5
	2013	4,4	17,5	879	6,7

Проведенные исследования показывают, что за время эксплуатации месторождения произошло существенное (около 10 бар) снижение давления в продуктивном пласте. Причем у некоторых скважин зона кипения распространилась на коллектор. Кипение в призабойной зоне затрудняет приток к скважине, поскольку в данном случае речь идет о двухфазной фильтрации. Кроме того кипение в коллекторе может сопровождаться отложением солей в фильтрующих каналах, что также снижает приток. Расширение зоны кипения может привести к формированию в термоводоносном комплексе «паровых шапок», которые в свою очередь могут вызвать «геотермальные взрывы» (выброс пара под действием горного давления и недостаточных прочностных характеристик и мощности перекрывающих горизонтов).

Полученные данные не позволяют установить наличие динамики пластового давления в настоящее время. Если снижение давления будет продолжаться, то нетрудно прогнозировать последовательный вывод добычных скважин из эксплуатации до достижения приемлемого уровня добычи теплоносителя. При этом выход на существующий уровень и увеличение добычи будет возможно только при освоении новых участков месторождения. В этой связи необходимо отметить важность качественного мониторинга разработки, которое в настоящее время оставляет желать лучшего. Именно мониторинг должен дать окончательный ответ относительно динамики параметров в продуктивном пласте.

Однако и полученные результаты позволяют сделать некоторые практические выводы. Кипение в призабойной зоне будет сопровождаться расширением зоны двухфазной фильтрации, а скважины с двухфазным питанием, как показывает опыт других месторождений, неизменно снижают производительность. Т. е. в скором времени встанет вопрос о выводе этих скважин из эксплуатации. Следовательно, уже сейчас можно ставить вопрос о возобновлении на месторождении буровых работ, освоении новых перспективных участков с целью восполнения ожидаемого дефицита добываемого теплоносителя.

7.3 Оценка условий фильтрации в продуктивном пласте Мутновского месторождения парогидротерм

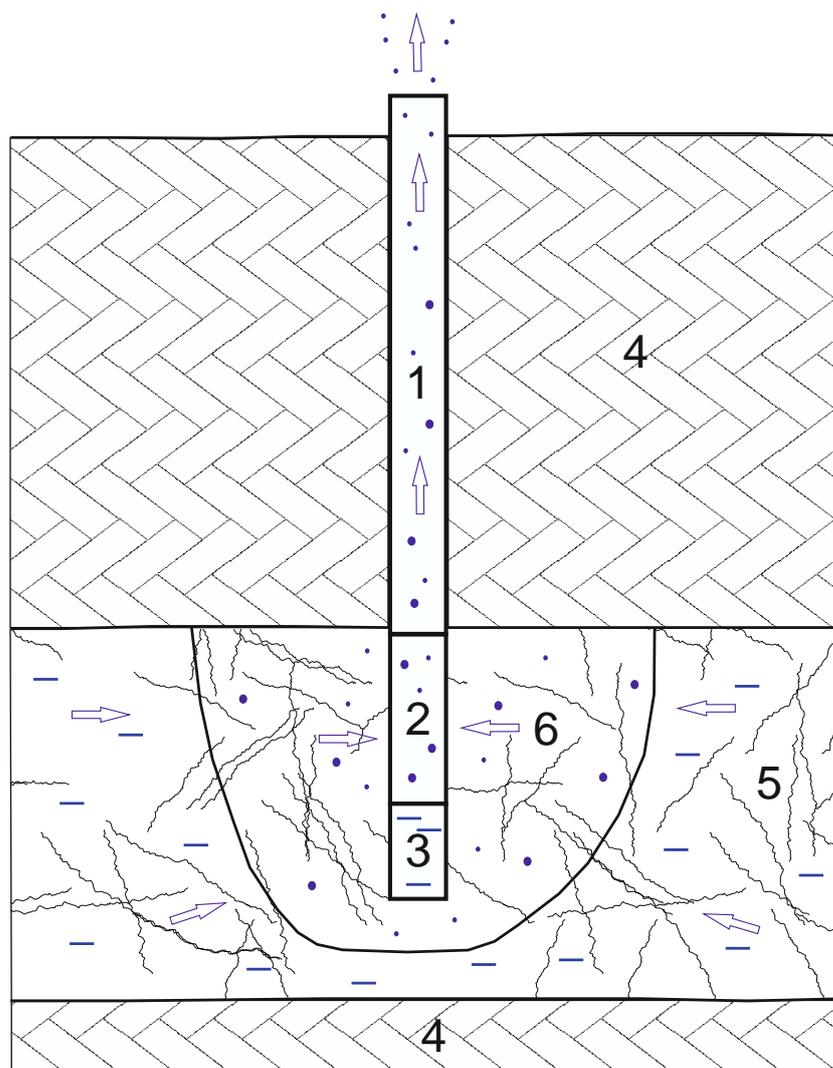
Мутновское месторождение парогидротерм находится в 60 км по прямой к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский. Термоводоносный комплекс месторождения имеет более сложную, по сравнению с Паужетским, геологиче-

скую структуру и характеризуется неопределенностью термодинамических условий фильтрации. Значительные расходные параметры добычных скважин, высокие температуры продуктивных горизонтов затрудняют получение информации о месторождении, как в качественном, так и в количественном выражении. Считается, что геотермальный резервуар содержит двухфазный флюид с доминированием воды при температуре 250–300 °С. Статический уровень воды в скважинах располагается примерно на 500 м ниже поверхности земли. По данным многолетней эксплуатации запасы пара составляют 172 кг/с. Теплоноситель добывают 12 скважин, работающих в режиме парлифта, с общим расходом пара 156 кг/с. Устьевое давление 7–10 бар. Сепарация смеси осуществляется на станциях. Пароводяная смесь транспортируется по трубопроводам на расстояние до 2,3 км, общая длина трубопроводов пароводяной смеси превосходит 10 км.

Расчеты параметров на верхней границе зон водопритоков добычных скважин Мутновского месторождения по модели WELL-4 показали, что во всех случаях теплоноситель находится в двухфазном состоянии. Следовательно, в призабойной зоне имеет место двухфазная фильтрация. Геотермальный резервуар данного месторождения содержит, в основном, воду в однофазном состоянии. Т. е. схема потоков соответствует изображенной на рисунке 7.4. Работа скважины вызывает депрессию в призабойной области, вызывая там кипение (область б).

Геотермальная скважина предназначена для вскрытия продуктивного пласта через толщу непроницаемых пород. Продуктивный пласт на геотермальных месторождениях Камчатки и Курил состоит из пород, характеризующихся проницаемостью трещинно-жильного типа. По мере бурения скважина пересекает от 1 до 7 питающих зон, толщиной от 1 до 300 м. Ствол скважины состоит из верхнего участка с непроницаемыми стенками, участка притоков и нижнего участка с непроницаемыми стенками (рисунок 7.4). Участок питания состоит из труб, в стенке которых сделаны отверстия для поступления флюида из продуктивного пласта. В некоторых скважинах, пробуренных на стадии разведки месторождения и до сих пор находящихся в эксплуатации, данный участок полностью или частично представлен открытым стволом (без установки труб). У большинства скважин ниже рассматриваемого участка располагается «глухой» участок, наличие которого вызвано либо отсутствием фильтрационных отверстий в обсадных трубах, либо отсутствием питающих зон, либо выходом из продуктивного пласта в область непроницаемых пород.

Теплофизические процессы в «глухом» участке. Пульсации параметров потока является характерной особенностью газожидкостных, в том числе пароводяных, течений. Такие пульсации, имеющие период порядка секунды и амплитуду порядка десятых бара, легко наблюдать при измерении давления на устье пароводяных скважин.



1 – верхний участок скважины с непроницаемыми стенками, 2 – участок питающих зон, 3 – нижний участок скважины с непроницаемыми стенками, 4 – непроницаемые породы, 5 – термоводоносный комплекс, 6 – область двухфазного течения в термоводоносном комплексе.

Рисунок 7.4 – Участки с различными условиями течения в пароводяной скважине и термоводоносном комплексе

В конце 2013 г. на Мутновской ГеоЭС (Камчатка) было начато использование самопишущих манометров, которое показало наличие колебаний устьевого давления скважин с периодом от десятка минут до нескольких часов и амплитудой от десятых до единиц бара. Эти колебания, имеющие период, значительно превышающий время подъема теплоносителя от забоя до устья скважины, не укладываются в рамки традиционных представлений. Все добычные скважины ГеоЭС Камчатки работают в режиме парлифта, в статическом состоянии уровень воды в открытой скважине находится ниже земной поверхности, и повышение давления может привести к samozадавливанию скважины и выводу ее из эксплуатации. Поэтому важно знать причины возникновения колебаний для того, чтобы разработать способы их предотвращения.

Температура пароводяной смеси в стволе скважины ниже температуры

воды и окружающих пород в продуктивном пласте. В нижней части участка 2 скорость потока невысока, что способствует осаждению «холодной» воды в «глухом» участке 3. Вода в заполненном водой «глухом» участке получает тепло от окружающих пород. Температура пород поддерживается восходящими кондуктивными потоками тепла и конвекцией флюида в термоводоносном комплексе. Температура воды, испытывающей гидростатическое давление, может существенно превысить температуру в верхней части участка 3, определяемую давлением и температурой пароводяной смеси в нижней части участка 2. Начало кипения в «глухом» участке запустит механизм парлифта и приведет к извержению вскипающей массы в ствол скважины. Таким образом, внутри скважины имеются предпосылки для возникновения нестационарных процессов, характерных для гейзеров [65]. Заметим, что протяженность участка 3 в некоторых скважинах Мутновского месторождения превосходит 100 м, а разность температур в его верхней части и в продуктивном пласте может достигать десятков градусов, поэтому возможно извержение большой массы воды. Например, в скважине 037 протяженность «глухого» участка – 102 м при внутреннем диаметре обсадных труб 0,15 м, расчетная температура в нижней части участка 2–262 °С, измеренная температура на забое скважины в статическом состоянии, характеризующая температуру продуктивного пласта – 300 °С.

Разгрузка «глухого» участка осуществляется не в открытое пространство, а в ствол скважины, окруженный проницаемыми породами. Поэтому интенсивность извержения будет меньше по сравнению с традиционным гейзером. Более того, после извержения будет иметь место приращение расхода за счет массы, полученной питающей зоной в процессе извержения. За счет этого и за счет возможного демпфирующего эффекта в процессе течения, на устье скважины отклик извержения будет не столь резким, как в традиционном гейзере.

Колебания параметров потока, связанные с рассмотренным механизмом, легко могут быть предотвращены путем ликвидации «глухого» участка. Технологически данное мероприятие не должно вызывать затруднений – достаточно засыпать скважину необходимым количеством плотного вещества или залить ее соответствующим объемом цементного раствора. Но проще и надежней ликвидацию «глухого» участка осуществлять на этапе строительства скважин.

Задача ликвидации колебаний давления является наиболее важной для Паужетской ГеоЭС (Камчатка). Технология сбора теплоносителя для этой станции чувствительна к снижению устьевых давлений в скважинах. При падении давления на устье магистральный трубопровод может «задавить» скважину. В результате ГеоЭС теряет не только пар от «задавленной» скважины, но частично пар из магистрального трубопровода, который поступает в скважинный сепаратор и сбрасывается через водяную линию, идущую на слив. Такие случаи неоднократно отмечались практически. Увеличение со временем числа скважин с двухфазной зоной питания на Паужетском месторождении парогидротерм указывает на необходимость целенаправленного изучения процессов, протекающих ниже верхней границы зон питания.

7.4 Выводы

1. Математическое моделирование течения в стволе скважины может ис-

пользовать как инструмент для определения термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения.

2. Основным фактором изменения производительности добычных скважин Паужетского месторождения следует считать снижение давления в продуктивном пласте. За время эксплуатации снижение давления в продуктивном пласте оценивается от 7 до 13 бар. В некоторых скважинах зона кипения распространилась на питающий коллектор, т. е. изменились условия фильтрации в продуктивном пласте, перейдя от однофазной к двухфазной фильтрации.

3. Разработка Паужетского месторождения парогидротерм нуждается в организации качественного мониторинга, учитывающего изменения условий фильтрации в продуктивном пласте. Для поддержания и увеличения уровня добычи теплоносителя необходимо ставить вопрос о возобновлении буровых работ.

4. В призабойной зоне добычных скважинах Мутновского месторождения имеет место двухфазная фильтрация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённых исследований получены результаты, которые отличаются новизной и имеют существенное значение для изучения современных опасных геологических процессов на месторождениях Приморского края, который выбран в качестве полигона.

Основные результаты исследований заключаются в следующем:

– проведено районирование территории Приморского края по факторам проявления опасных геологических процессов, составлена схема развития ОГП, четвертичной тектоники, оползневых и карстовых явлений, кор выветривания, эколого-геохимической обстановки;

- создан ГИС проект структурно-геологического районирования с выделением структурно-геологических зон, районов, совмещённый со схемой развития ОГП, установлена возможность проявления опасных процессов в пределах выделенных структурно-геологических подразделений;

- составлены схемы и установлены закономерности расположения угольных бассейнов и месторождений на территории края, на угольных разрезах опасные геологические процессы характеризуются большой сложностью и разнообразием;

- разработаны типовые геоэлектрические модели оползневых процессов и тектонических нарушений на угольных и рудных месторождениях с описанием литологических особенностей, определением геометрических и физических параметров изучаемых объектов, закономерностей изменения электрических свойств;

- разработаны алгоритмы и программное обеспечение расчета электрического поля для сред с горизонтальными и вертикальными границами, а так же для полупространства с локальным объектом в виде сфероида вращения при расположении источников и приёмников на поверхности и внутри среды;

- на основе анализа результатов моделирования для сред, аппроксимирующих типовые геоэлектрические модели, установлены закономерности аномальных участков поля и критерии обнаружения и прослеживания различно ориентированных слоёв (тектонические нарушения, зоны трещиноватости, ослабленные горизонты) и локальных объектов (пустоты, линзы водоносных горизонтов, выклинивающиеся пропластки);

- построены геолого-геофизические разрезы на выбранных участках развития опасных геологических процессов на площади Бикинского бурого угольного месторождения;

- установлены условия залегания основных комплексов пород, включая положение обследуемых слоёв, на участках оползневых массивов по данным электрической томографии, достоверные параметры геологического разреза удаётся получить благодаря предварительно выполненным методическим исследованиям;

- подготовлены рекомендации по применению метода электрической томографии при оценке и прогнозированию опасных геологических процессов в процессе освоения месторождений полезных ископаемых Дальневосточного

региона;

- разработаны рекомендации по определению термодинамических условий фильтрации в продуктивном пласте парогидротермального месторождения;
- определены условия фильтрации в призабойной зоне добычных скважин парогидротермальных месторождений России.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кубай, Б. В. Изменяется ли климат Приморского края [Текст] / Б. В. Кубай, Э. А. Мендельсон, Т. В. Цурикова. – Владивосток : ФГБУ «Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», 2012. – 130 с.
2. Развитие природной среды юга Дальнего Востока (поздний плейстоцен-голоцен) [Текст] / А. М. Короткий [и др.]. – М. : Наука, 1988. – 240 с.
3. Короткий, А. М. Аномальные природные процессы и их влияние на состояние геосистем юга Дальнего Востока [Текст] / А. М. Короткий, В. В. Коробов, Г. П. Скрыльник ; под общ. ред. акад. РАН П.Я. Бакланова. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 256 с.
4. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1:2 500 000. Объяснительная записка [Текст]. – Санкт-Петербург-Благовещенск-Харбин, 1999. – 135 с.
5. Ушаков, С. А. Динамика литосферы, обусловленная нижележащими плотностными неоднородностями [Текст] / С. А. Ушаков, Е. Н. Исаев, М. С. Красс // Вестник МГУ. Серия IV: Геология. – 1969. – № 1. – С.104–108.
6. Гатинский, Ю. Г. Геодинамика Азии – Тектоника плит и тектоника блоков [Текст] / Ю. Г. Гатинский, Д. В. Рундквист // Геотектоника. – 2004. – № 1. – С. 3–20.
7. Олейников А. В. Палеосейсмология [Текст] / А. В. Олейников, В. А. Олейников. – Владивосток : Дальнаука, 2009. – 164 с.
8. Олейников, А. В. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмология Южного Приморья [Текст] / А. В. Олейников, В. А. Олейников. – Владивосток : Дальнаука, 2001. – 185 с.
9. Ивашинников, Ю. К. Геологическое и геоморфологическое строение и районирование Приморского края [Текст] / Ю. К. Ивашинников // Физическая география Приморского края. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 1990. – С. 6–43.
10. Тащи, С.М. Кайнозойский бассейн Западного Приморья и сопредельных территорий Китая и Кореи [Текст] / С. М. Тащи, А. Г. Аблаев, Н. Г. Мельников. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 168 с.
11. Милановский, Е. Е. Главные этапы проявления рифтогенеза на территории Китая [Текст] / Е. Е. Милановский // Геотектоника. – 1993. – № 3.
12. Уфимцев, Г. Ф. Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР) [Текст] / Г. Ф. Уфимцев. – Новосибирск : Наука, 1984. – 183 с.
13. Тащи, С. М. Кайнозойский бассейн Западного Приморья и сопредельных территорий Китая и Кореи [Текст] / С. М. Тащи, А. Г. Аблаев, Н. Г. Мельников. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 168 с.
14. Сушков, Н. Г. Землетрясения на территории приморского края в 1867–1988 гг. [Текст] / Н. Г. Сушков // Сейсмичность и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке: доклады Всесоюзной конференции совместно с VIII научной сессией Дальневосточной секции МССС. – Владивосток, 1991. – С. 81–92.
15. Геология СССР. Том XXXII. Приморский край. Часть 1. Геологическое описание [Текст]. – М. : Недра, 1969. – 696 с.
16. Горная энциклопедия (Геос-Кен) [Текст]. – М. : Советская Энциклопедия. – 1985. – Т. 2. – 575 с.

17. Оливер, К. Выветривание [Текст] / К. Оливер ; пер. с англ. С. С. Чекина, В. С. Знаменского. – М. : Недра, 1987. – 348 с.
18. Горная энциклопедия (Сою-Я) [Текст]. – М. : Советская Энциклопедия. – 1991. – Т. 5. – 541 с.
19. Степанова, А. И. Суммарный вынос твёрдого стока реками Приморья в Японское море [Текст] / А. И. Степанова, М. С. Карасёв, Н. И. Лобанова // Труды ДВНИГМИ. – Владивосток, 1979. – Вып. 81. – С. 3–8.
20. Степанова, А. И. Оценка составляющих стока наносов в бассейнах рек Приморского края [Текст] / А. И. Степанова // Труды ГГИ. – 1979. – Вып. 267. – С. 62–65.
21. Короткий, А. М. О переуглублённых речных долинах Восточной Азии [Текст] / А. М. Короткий, Б. И. Павлюткин // Возраст и генезис переуглублений на шельфах и история речных долин. – М. : Наука, 1984. – С. 160–166.
22. Соловьев, С. Л. Каталог цунами на западном побережье Тихого океана [Текст] / С. Л. Соловьев, Ч. Н. Го. – М. : Наука, 1974. – 309 с.
23. Обследование проявлений цунами 12–13 июля 1993 года на побережье Приморского края [Текст] / Г. В. Горбунова [и др.] // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. – Южно-Сахалинск : ИМГГ ДВО РАН, 1997. – Т. 8. – С. 7–28.
24. Полякова, А. М. Цунами в Приморье 26 мая 1983 года и его последствия [Текст] / А. М. Полякова. – Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 1988. – 40 с.
25. Седых, А. К. Кайнозойские рифтогенные впадины Приморья [Текст] / А. К. Седых. – Владивосток, Дальнаука, 2008. – 248 с.
26. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах [Текст]. – СПб. : Изд-во Межотраслевого научного центра ВНИМИ, 1998. – 208 с.
27. Рассказов, И. Ю. Изучение ослабленных слоёв на оползневых откосах угольных разрезов методом электрической томографии [Текст] / И. Ю. Рассказов, Г. Н. Шкабарня, Н. Г. Шкабарня // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5.
28. Каленов, Е. Н. Интерпретация кривых вертикального электрического зондирования [Текст] / Е. Н. Каленов. – М. : Гостоптехиздат, 1957. – 472 с.
29. Заборовский, А. И. Электроразведка [Текст] / А. И. Заборовский. – М. : Гостоптехиздат, 1963. – 415 с.
30. Израильский, Ю. Г. Алгоритм расчета кажущихся сопротивлений и поляризуемостей для среды с неоднородностями в виде сфероида [Текст] / Ю. Г. Израильский, Н. Г. Шкабарня // Прикладная геофизика. – М. : Недра, 1984. – Вып. 110. – С. 89–98.
31. Dey, A. Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional shaped structures [Text] / A. Dey, H. F. Morrison // Geophysics. – 1979. – Vol. 44. – P. 753–780.
32. Звиденная, В. Т. Геологическое обоснование к проекту ТЭО кондиций на детальную разведку участков Черемшового и Голубичного с Бикинского бурогоугольного месторождения [Текст] / В. Т. Звиденная. – Артём, 1991. – Кн. 1. – 154 с.
33. Геологический отчёт по детальной разведке участка №4 (Западный фланг) Бикинского бурогоугольного месторождения за 1982–1984 гг. [Текст] / Ш. Г. Ульмасбаев [и др.]. – Артём, 1984. – Т. 1. – 319 с.
34. Столов, Б. Л. Изучение рудоносных структур Приморья методами электроразведки [Текст] : учеб. пособие / Б. Л. Столов, Н. Г. Шкабарня. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 1995. – 184 с.

35. Исследование гидрогеологической обстановки разреза "Лучегорский" и разработка рекомендаций по осушению и устойчивости бортов и отвалов [Текст]: отчет о НИР. – Киев : УкрНИИпроект, 1985.
36. Исследование устойчивости прибортового массива и разработка рекомендаций по безопасной отработке пластов 4,5,6 групп в Южном борту разреза «Восточный» [Текст] : отчёт о НИР. – СПб. : ГФУП НИИ горной механики и маркшейдерского дела, 2004.
37. Гидрогеологическое обоснование мероприятий по защите южного борта разреза "Восточный" ЗАО "ЛуТЭК" от водопритоков [Текст] : отчёт о НИР. – Владивосток, 2004.
38. Технический отчет о выполненных инженерно-геологических изысканиях под Рабочий проект отработки Южного борта разреза «Восточный» РУ «Лучегорское» (33 опасная зона) [Текст]. – Владивосток, 2004.
39. Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 площади листа L–52 (Пограничный), L–53 (оз. Ханка); K–52 (Владивосток), K–53 (Находка) [Текст] : отчёт по объекту № 14–10 / Г. С. Белянский [и др.]. – Владивосток, 2006.
40. Назаренко, Л. Ф. Геология Приморского края (объяснительная записка к геологической карте Приморского края масштаба 1:500 000 [Текст] / Л. Ф. Назаренко, В. А. Бажанов. в 3-х кн. – 1991.
41. Пояснительная записка к инженерно-геологической карте Масштаб 1:500 000 [Текст] / Т. М. Куц [и др.]. – Вольно-Надежденское : Комитет по Природным ресурсам по Приморскому краю, 1999.
42. Мостовой, В. К. Современные экзогенные геологические процессы и явления на территории Приморского края [Текст] : отчет Приморской комплексной гидрогеологической партии по программе "Обобщение материалов по современным экзогенным геологическим процессам на территории Приморского края" за 1975–78 гг. / В. К. Мостовой, Л. Н. Василевская. – Владивосток, 1979.
43. Пчелкин, В. И. Геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия бассейна нижнего течения р. Илистой [Текст] : отчет Ханкайской партии по результатам комплексных исследований масштаба 1:50 000 для целей мелиорации земель за 1974–76 гг. / В. И. Пчелкин, Т. И. Исупова. – Владивосток, 1977.
44. Сумароков, С. М. Изучение и прогнозирование экзогенных геологических процессов на территории Приморского края : отчет Съемочной партии. Участок Экзогенный, 1987–1990 гг. [Текст] / С. М. Сумароков, А. С. Любич. – Владивосток, 1991.
45. Вяткин, А. И. Результаты изучения экзогенных геологических процессов в бассейне среднего течения рек Раздольной и Илистой Приморского края (уч. Экзогенный) [Текст] : отчет Приморской комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической партии за 1983–1985 гг. / А. И. Вяткин, А. С. Любич. – Владивосток, 1986.
46. Bertani R. Geothermal power generation in the World 2005–2010. Update report // Proceedings, World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 2010.
47. Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L. Direct utilization of geothermal energy 2010 World-wide review // Proceedings, World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 2010.
48. Дядькин Ю.Д. Разработка геотермальных месторождений. – М.: Недра, 1989. – 229 с.
49. Lund J.W., Gawell K., Boyd T.L., Jennejohn D. The United State of America Country. Update 2010 // Proceedings, World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 2010.

50. Lund J.W., Boyd T.L., Sifford A., Bloomquist R.G. Geothermal energy utilization in the United States – 2000 // Proceedings, 26-th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford, 2001.
51. Фролов Н.М., Аверьев В.В., Духин И.Е., Любимова Е.А. Методические указания по изучению термальных вод в скважинах. – М.: Недра, 1964. – 140 с.
52. А.В. Кирюхин, В.А. Корнеев, А.Ю. Поляков. О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре // Вулканология и сейсмология. №6. 2006. С. 3–11.
53. Фирстов П.П., Максимов А.П., Чернев И.И. Динамика газового состава теплоносителя Мутновской ГеоЭС в 2004 г. // Ползуновский вестник. 2006. № 2–1. С. 259–263.
54. Шулюпин А.Н. Методы измерения расходных параметров скважин при разработке парогидротермальных месторождений // Горный журнал. 2010. № 11. С. 42–44.
55. Ghaderi I. Comprehensive comparison between transmission two-phase flow in one line and two line separately for 50 MWe power plant in Sabalan, Iran. Proceedings, World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia. 2010.
56. Шулюпин А.Н. Вопросы гидравлики пароводяной смеси при освоении геотермальных месторождений. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 262 с.
57. Чернев И.И., Шулюпин А.Н. Изменение конструкции как способ повышения производительности добычных скважин парогидротермальных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отд. Вып. 4. С. 103–107.
58. Шулюпин А.Н., Чермошнцева А.А. О расчете пароводяного течения в геотермальной скважине // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. № 8. С. 14–19.
59. Асаулова Н.П., Ворожейкина Л.А., Манухин Ю.Ф., Обора Н.В. Результаты многолетней эксплуатации Паужетского геотермального месторождения // Горный вестник Камчатки. 2009. № 2(8). С. 47–56.
60. Кутепов Ф.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.
61. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / Под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.
62. Шулюпин А.Н. Вопросы гидравлики пароводяной смеси при освоении геотермальных месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2011. – 262 с.
63. James R. Factors controlling borehole performance // Geothermics. 1970. V. 2. P. 1502–1515.
64. Климентов П.П., Кононов В.М. Динамика подземных вод. М.: Высшая школа, 1973. 440 с.
65. Дроздин В.А. Физическая модель вулканического процесса. М.: Наука, 1980. 92 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Природно-климатические факторы,
геологическое строение и размещение угольных бассейнов и месторождений
на территории Приморского края, проявления геологических процессов

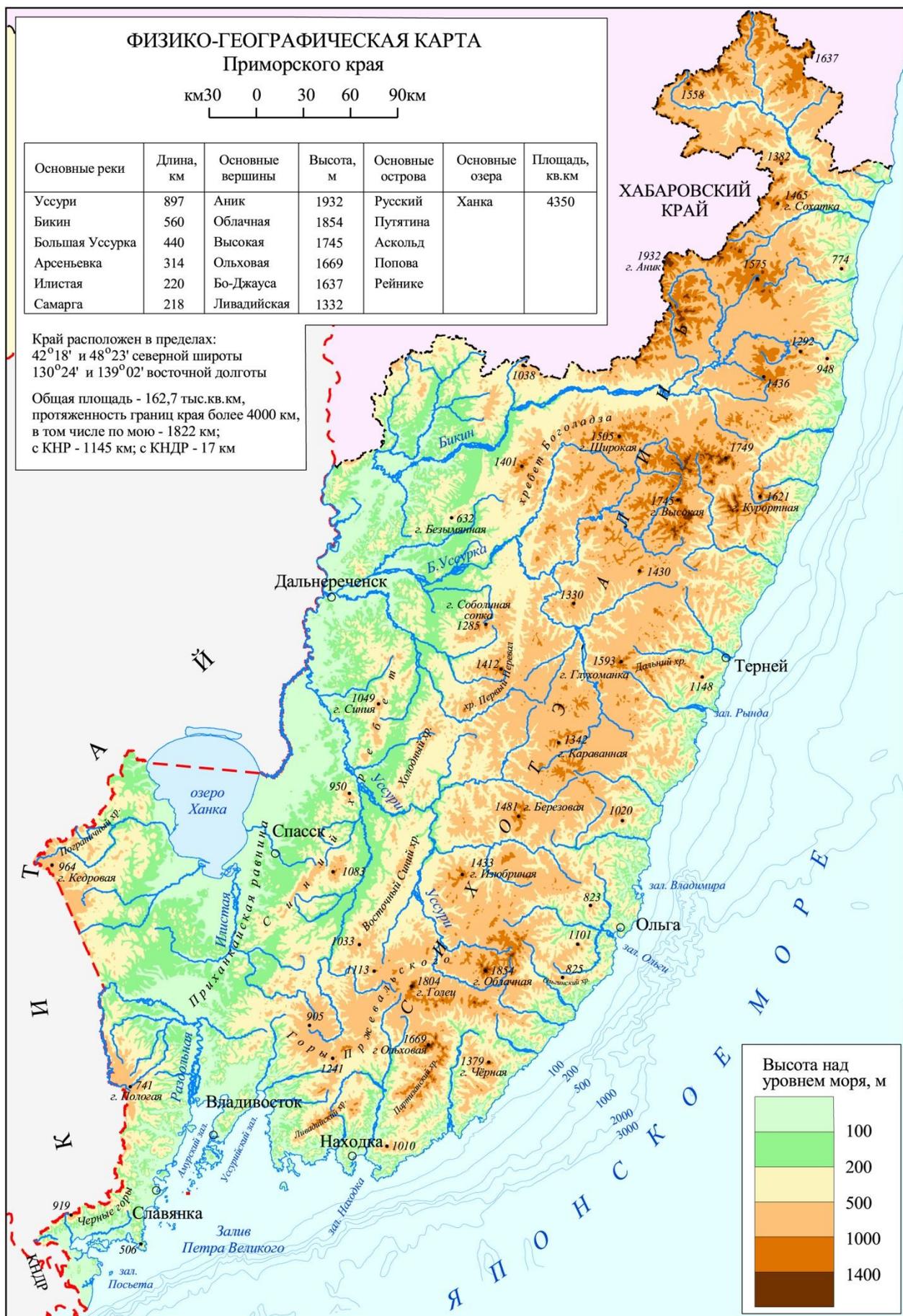
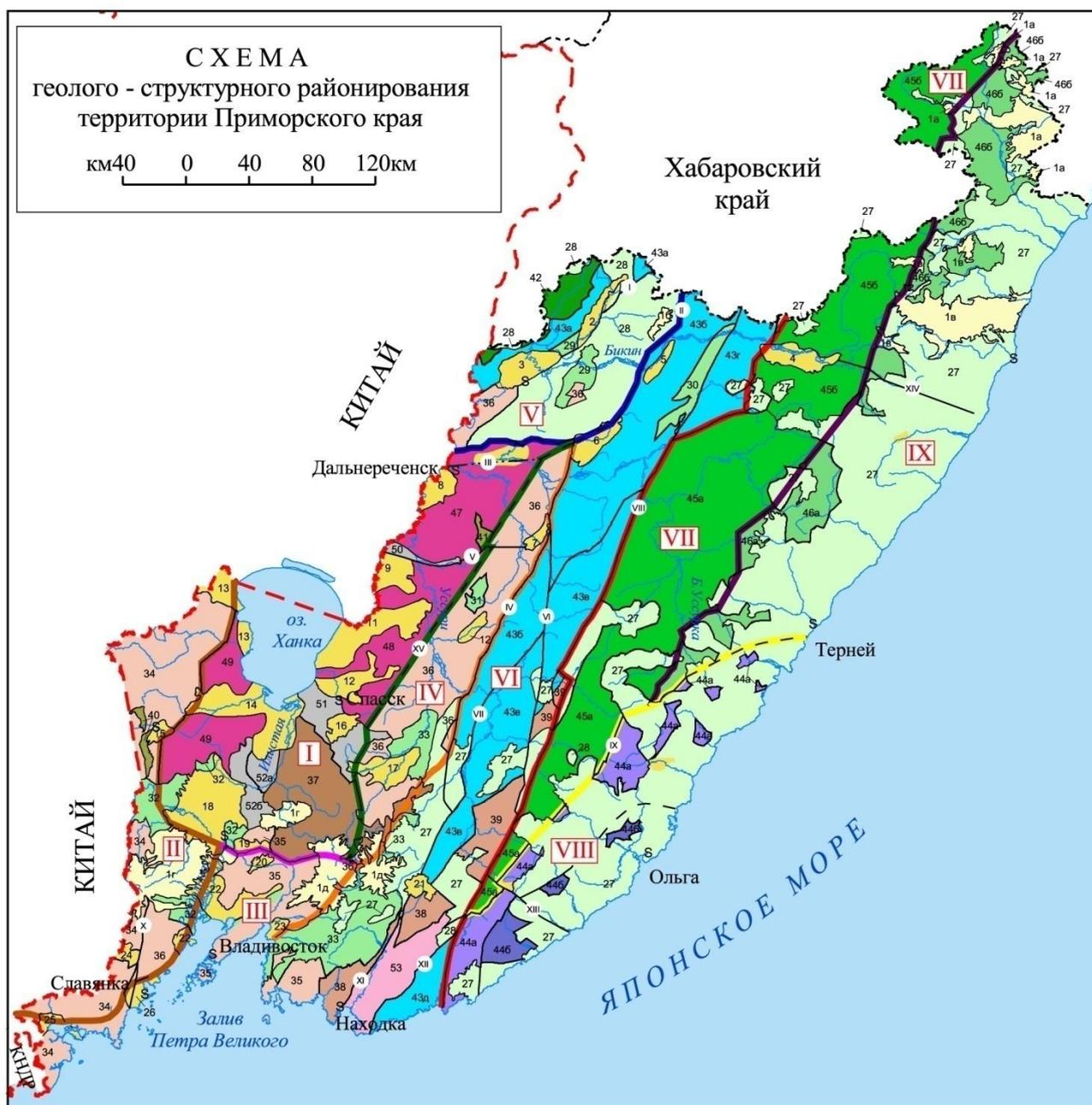


Рисунок А.1 – Физико-географическая карта Приморского края



- I – IX – Структурно-формационные зоны:
 I – Ханкайская; II – Лаоелин-Гродековская; III – Амурская; IV – Алчанская; V – Малиновская; VI – Центральная; VII – Восточная; VIII – Прибрежная; IX – Ольгинская.
- 1– 53 – Вещественно-структурные комплексы:
 1 – 26 – Кайнозойские (P–N);
 27 – 28 – Крайне-континентальные вулканические (K₁–N);
 29 – 33 – Наложённых меловых впадин (K₁–K₂);
 34 – 41 – Деформированного чехла Ханкайского массива (S₁–J);
 42 – 45 – Сихотэ-Алинской складчатой системы (D–K₁);
 46 – 52 – Ханкайского массива (PR–R).

Рисунок А 1 – Схема геолого-структурного районирования Приморья
 (Составлена по фондовым материалам В.И. Рыбалко, В.А. Бажанов, 2006 г)

Условные обозначения к рисунку А. 2:

1 – 26 – Неотектонические структуры

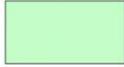


Покровы плато базальтов: 1б – Вехнебикинкий; 1в – Шуфанский; 1г – Шкотовский



Кайнозойские континентальные впадины (Р–N): 2–Алчанская; 3–Нижнебикинская; 4–Верхнебикинская; 5–Среднебикинская; 6–Маревская; 7–Ореховская; 8–Дальнереченская; 9–Лесозаводская; 10–Шмаковская; 11–Чкаловская; 12–Крыловская; 13–Турыйрогская; 14–Жариковская; 15–Пограничная; 16–Меркушёвская; 17–Арсеньевская; 18–Павловская; 19–Глуховская; 20–Комаровская; 21–Белопадинская; 22–Артёмо-Тавричанская; 23–Шкотовская; 24–Нарвская; 25–Краскинская; 26–Славянская

27 – 28 – Окраинно-континентальные вулканические структуры



27–Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс (K₁–N); 28– Алчанский ареал (K₁–P)

29 – 33 – Наложённые меловые впадины



29–Силаншанская; 30–Холминская; 31–Веснянская; 32–Раздольнинская; 33–Партизанско-Яковлевская (K₁–K₂)

34 – 36 – Структуры деформированного чехла Ханкайского массива



34–Восточно-Маньчжурская; 35–Муравьевско-Дунайская зона; 36–Малиновская зона (P₁–J);



37–Синегорская зона (D–C₁);



38–Партизанская зона (P₁–J); 39–Окраинная зона (P₁–J);



40–Кордонкинский прогиб (S₁); 41–Тамгинский прогиб (D);

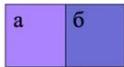
42 – 46 – Сихотэ-Алинская складчатая система



42–Западная зона, Приуссурийская зона (J–K₁);



43–Центральная зона, подзоны: 43а–Нижнебикинская; 43б–Хорско-Ариаднинская; 43в–Самаркинская; 43г–Хорско-Тормасинская; 43д–Аннойская; 43е–Кривинская (T–J);



44–Прибрежная зона, подзоны: 44а–Дальнегорская (P₂–K₁); 44б–Щербаковская (D₃–K₁);



45–Восточная зона (K₁): 45а–Лужкинская подзона; 45б–Катэн-Чукенская подзона;

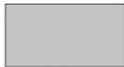


46–Кемская зона (K₁): 46а–Максимовская подзона; 46б–Самаргинская подзона;

47 - 53 – Ханкайский массив



47–Матвеевская зона; 48–Нахимовская зона; 49–Гродековская зона (PR₁–R);

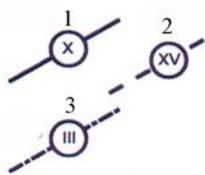


50–Кабаргинская зона; 51–Спасская зона,
52–Вознесенская зона, подзоны: 52а–Ярославская; 52б–Первомайская (ε);



53–Сергеевская зона (PR₁)

Разрывные нарушения:

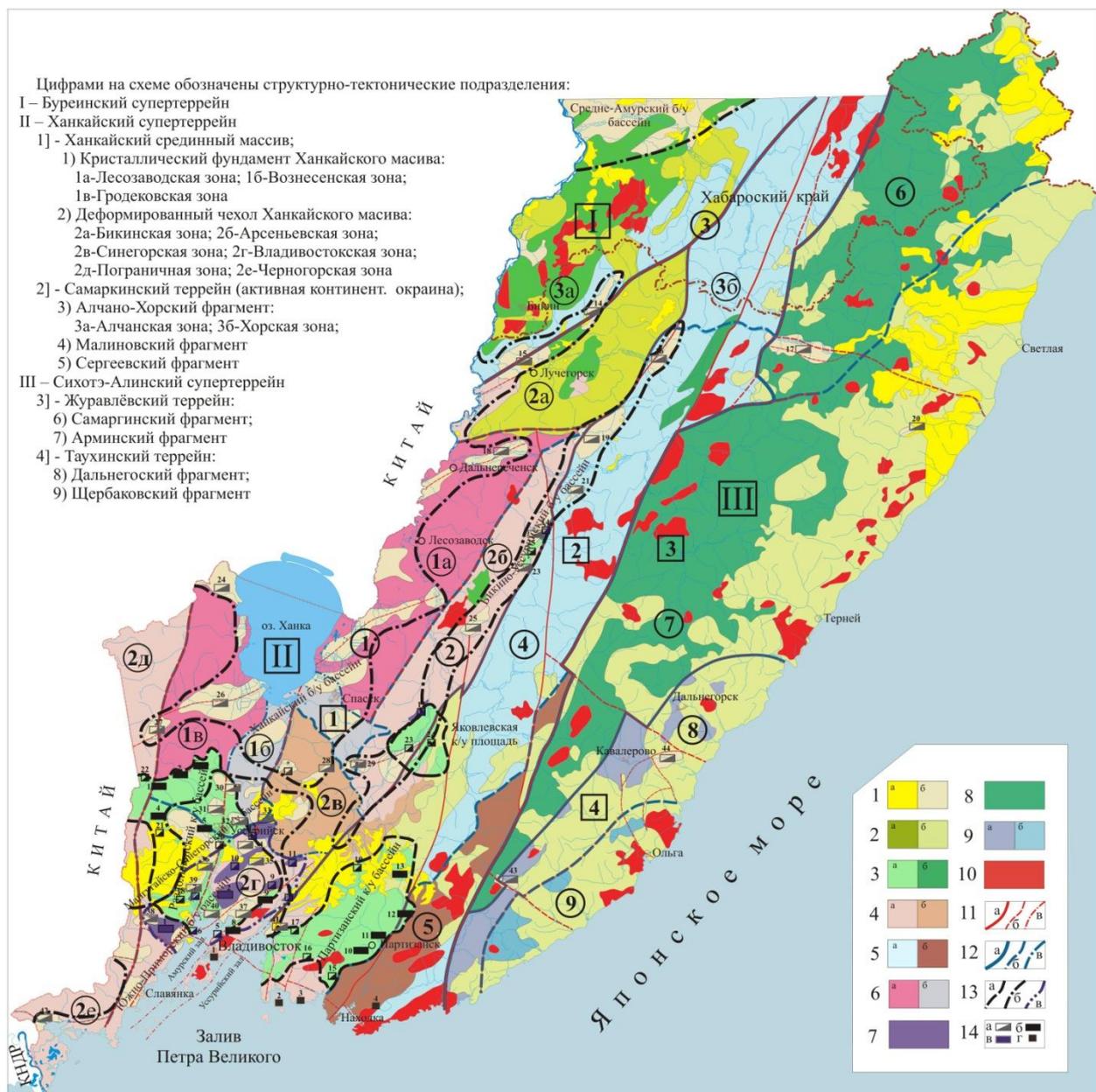


1–Достоверные; 2–Предполагаемые; 3–Скрытые;

I–Алчанский; II–Среднебикинский; III–Дальнереченский; IV–Арсеньевский; V–Кабаргинский; VI–Меридиональный; VII–Самаркинский; VIII–Центральный; IX–Фурмановский; X–Западно-Приморский; XI–Партизанский; XII–Кривинский; XIII–Южно-Приморская группа разломов; XIV–Бикинская группа разломов; XV–Среднеханкайский



Границы структурно-формационных зон



Каменноугольные месторождения:

триасового возраста – 1. Монгугайское, 2. Синегорское;

мелового возраста – **Раздольненский бассейн**: 1. Константиновское, 2. Ильичёвское, 3. Липовецкое, 4. Алексе-Никольское, 5. Уссурийское, 8. Подгородненское, 9. Суражевское;

Партизанский бассейн: 10. Партизанское, 11. Мельниковское, 12. Белопадинское, 13. Сергеевское, 14. Молчановское.

Буроугольные месторождения палеоген-неогенового возраста:

Ханкайский бассейн: 14. Алчанское, 15. Бикинское, 18. Гоголевское, 24. Турийрогское, 25. Крыловское, 26. Жариковское, 27. Пограничное, 28. Ретиховское,

Бикино-Уссурийский бассейн: 16. Сред. Бикинское, 19. Маревское, 21. Белогорское, 22. Ореховское, 23. Малиновское, 29. Чернышевское;

Южно-Приморский бассейн: 30. Павловское, 31. Воздвиженское, 32. Раковское, 33. Даниловское, 34. Глуховское, 35. Баневуровское, 36. Пушкинское, 37. Артёмовское, 38. Амбинское, 39. Новонежинское, 40. Тавричанское, 41. Смоляниновское, 42. Хасанское;

Сихотэ-Алинские б/у месторождения: 17. Верх. Бикинское, 20. Максимовское, 44. Зеркальное, 43. Берёзовское.

Рисунок А3 – Схема расположения угольных бассейнов и месторождений (составлена по фондовым материалам Г.С. Белянского, 2006 г.; В.И. Подоляна, 2012 г)

Условные обозначения к рисунку А3

Цветом на схеме выделены:



1. Неотектонические структуры:

- а - Покровы плато-базальтов (N),
- б - Кайнозойские континентальные впадины (J-N);



2. Крайне-континентальные вулканические структуры:

- а - Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс (K₁-N),
- б - Алчанский ареал (K₁-J)



3. Наложённые меловые впадины:

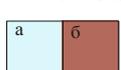
- а - угленосные (Раздольнинская; Партизанская, Яковлевская),
- б - безугольные (Силаншанская, Холминская; Веснянская (K₁-K₂))



4. Структуры деформированного чехла Ханкайского массива:

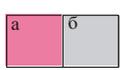
- а - Лучегорская, Арсеньевская, Владивостокская, Вос.-Манчжурская, (P₁-J), зоны
- б - Синегорский фрагмент (D-C₁);

5. Самаркинский блок активной континентальной окраины:



- а - Алчанская, Хорская и Кривинская (T-J) зоны,
- б - Сергеевский фрагмент (PR₁, P₁-J)

6. Ханкайский срединный массив (супертеррейн):



- а-Матвеевская, Нахимовская, Гродековская зоны (PR₁-R),
- б. Кабаргинская; Спасская, Вознесенская (Д) зоны;

7. Области распространения угленосных отложений триаса



Сихотэ-Алинская складчатая система (супертеррейн):



8. Сихотэ-Алинский синклинорий (Журавлёвский террейн);

Самаргинский (6), Арминский (7) фрагменты (K₁)



9. Таухинский террейн:

а – Дальнегорский (P₂-K₁), б - Щербаковский (D₃-K₁) фрагменты

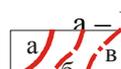
Интрузивные образования



10. Гранитоидные интрузии

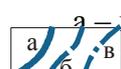
Границы

11. Тектонические границы:



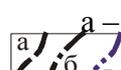
- а – Главные установленные нарушения, б – Предполагаемые нарушения
- в – Скрытые нарушения

12. Границы структурно-тектонических подразделений:



- а – между мегаблоками (между блоками - линия тоньше),
- б – между фрагментами внутри блоков, в. – между зонами.

13. Границы угленосных бассейнов:

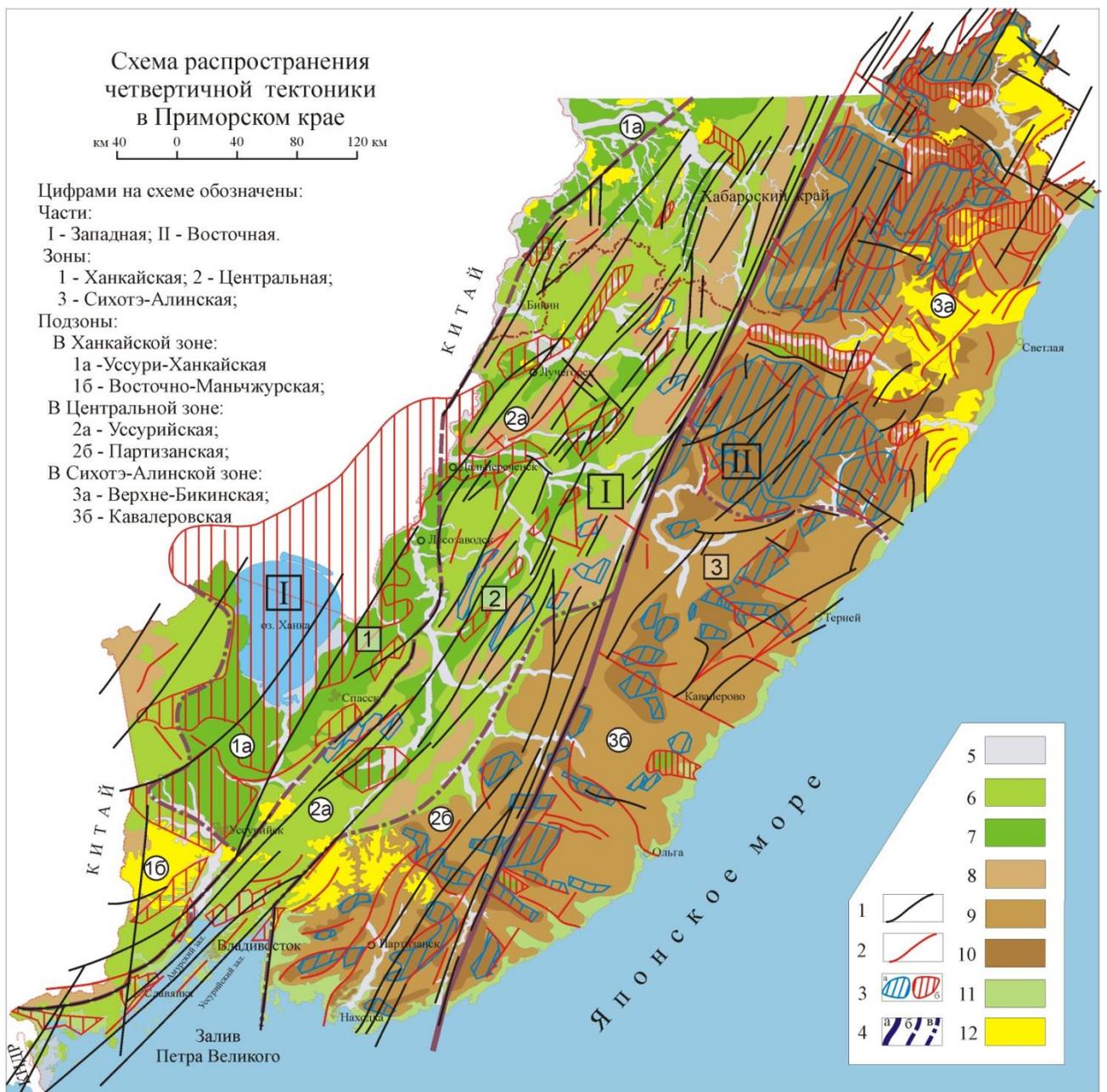


- а – граница меловых бассейнов, б – граница третичных бассейнов.
- в – граница триасового «Амурского» бассейна

14. Внемасштабные символы месторождений (а,б,в) и углепроявлений (г):



- а – третичных б/у, б – меловых к/у, в – триасовых к/у,
- г – пермского и мелового возраста (угли каменные).



1. – Современные четвертичные активизированные разломы; 2. – Четвертичные палеосейсмодислокации; 3. – Новейшие высокоамплитудные поднятия (а), кайнозойские и современные впадины (б); 4. – Границы, частей (а), зон (б), подзон (в); 5 – Области накопления четвертичных аллювиальных и озёрных отложений; 6. – Области накопления мощных (до 80–100 м) четвертичных отложений в районах современных понижений; 7. – Области накопления мощных (до 28 м) склоновых отложений в пределах современного низкогорного рельефа; 8. – Области накопления склоновые отложений в районах распространения современного среднегорного рельефа в Западном Приморье; 9. – Области накопления четвертичных склоновых отложений в районах распространения современного среднегорного рельефа в Сихотэ-Алине; 10. – Области накопления склоновые отложений в районах распространения современного массивного среднегорного рельефа в Сихотэ-Алине; 11. – Области накопления четвертичных морских, аллювиально-морских и склоновых отложений в прибрежной полосе восточного и южного Приморья; 12.– Области распространения четвертичной площадной коры выветривания мощностью до 20 м на базальтовых плато.

Рисунок А. 4 – Схема районирования территории Приморья по факторам проявления четвертичной тектоники
 (Схема составлена с использованием материалов Олейникова, 2009; Белянского, 2006 г.)