

УДК 551.4.01 + 551.248

НОВЕЙШИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ МОРФОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

© 2024 г. Д. А. Симонов^{1,*}, член-корреспондент РАН А. Н. Диденко^{2,3}, В. С. Захаров¹,
Г. З. Гильманова³

Поступило 04.03.2024 г.

После доработки 01.04.2024 г.

Принято к публикации 08.04.2024 г.

Проведён морфоструктурный анализ речной сети юга Дальнего Востока. Установлено, что новейшие вертикальные движения в регионе проявлялись на фоне более древнего, уже сформированного и не до конца эродированного рельефа. Выделены три стадии развития рельефа, отражающие неотектоническую активность в регионе: а) доолигоценовая, характеризующаяся более интенсивным воздыманием Буреинского хребта, и менее интенсивным — хребта Сихотэ-Алинь; б) олигоцен-плиоценовая, характеризующаяся наиболее интенсивными вертикальными движениями в регионе за рассматриваемый период — поздний эоцен-голоцен; в) плейстоцен-голоценовая, во время которой сформировался современный выработанный эрозионно-денудационный рельеф и значительных по амплитуде вертикальных движений не происходило. Построена карта суммарной амплитуды вертикальных неотектонических движений.

Ключевые слова: новейшая тектоника, морфоструктурный анализ речной сети, вертикальные движения, Дальний Восток России

DOI: 10.31857/S2686739724080101

ВВЕДЕНИЕ

Территория юга Дальнего Востока России достаточно хорошо, по сравнению с некоторыми другими регионами, обеспечена современным геолого-геофизическим и картографическим материалом: 1) практически вся территория юга Дальнего Востока России покрыта Государственными геологическими картами масштаба 1:1 000 000 третьего поколения, отличительной особенностью которых от карт предыдущих поколений является использование ГИС-технологий, современных методов абсолютной геохронологии, данных глубинных геолого-геофизических исследований и космического дистанционного зондирования [9]; 2) для территории имеется хорошая тектоническая основа, выполненная согласно принципам террейнового

анализа, прошедшая испытанием времени, которая, что немаловажно, постоянно совершенствуется [1, 16]; 3) карты глубин подошвы и кровли магнитоактивного слоя, Мохо, 3D-плотностная модель [5, 4, 17]; 4) карты фрактальных размерностей поля эпицентров землетрясений и параметров их повторяемости [20].

Диссонансом в этом отношении является изучение неотектонических движений в регионе. Последняя, и, вероятно, единственная детальная неотектоническая карта-схема юга Дальнего Востока России масштаба 1:2 500 000 была опубликована более 23 лет назад [2]. Существенным недостатком упомянутой выше работы является отсутствие какого-либо описания методики, с помощью которой была построена эта карта, что делает затруднительным объективную оценку реальности показанных на ней вертикальных движений с размахом 3.5 км — от –1 до +2.5 км. Необходимо отметить также и Карту новейшей тектоники Северной Евразии [6], на которой в единой легенде показана новейшая структура материковой части и прилегающих акваторий. Для этой карты в плане методического обеспечения ситуация иная. А.Ф. Грачевым [3]

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва, Россия

²Геологический Институт Российской Академии наук, Москва, Россия

³Институт тектоники и геофизики имени Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Хабаровск, Россия

*E-mail: dsim_0@mail.ru

достаточно подробно рассмотрены методические аспекты построения карты с краткой характеристикой геодинамических процессов, определяющих новейшую тектонику регионов. Размах вертикальных движений для Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий по данным этой карты составляет ~2.2 км от -0.7 до +1.5 км. Это существенно, более чем на 1 км, отличается от построений [2]. Мелкий масштаб карты (1:5 000 000) [3, 6] не позволяет проводить пространственную корреляцию с более детальными геолого-геофизическими построениями для Сихотэ-Алиньского региона, выполненными как нами, так и другими авторами.

В Объяснительных записках к Государственным картам 3-го поколения юга Дальнего Востока России есть разделы по неотектонике соответствующих листов, но все они базируются на материалах работы [2]. Поэтому несколько лет тому назад нами была поставлена задача построения новой неотектонической карты для юга Дальнего Востока России [11, 12] с использованием цифровой модели рельефа и построенной на её основе модели речной сети, путём расчёта ряда структурно-морфометрических монобазисных поверхностей.

В настоящей работе представлены методика построения и фактический материал, на основе которых были рассчитаны монобазисные и разностные поверхности с возрастом от голоцена до эоцена, и итоговая карта вертикальных движений за этот период. Расчётные монобазисные и разностные поверхности представлены в Приложении.

МЕТОДИКА РАСЧЁТОВ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА

Амплитуда и направленность новейших движений может меняться во времени, так как скорость подъёма или опускания на различных участках и в разные интервалы времени может быть разной, что оказывает определяющее влияние и на формирование рельефа в целом и гидросети, в частности. Структурно-морфометрический метод построения монобазисных поверхностей по точкам слияния водотоков одного порядка [19, 14], разработанный М.Ф. Филосовым [14, 15], позволяет не только выявлять развивающиеся тектонические структуры, но и рассматривать их развитие во времени. Водотоки высших порядков развиваются, в целом, дольше и отражают сумму движений от их времени

заложения до ныне, тогда как развитие водотоков низших порядков отражает неотектонические движения за меньший и более поздний промежуток времени. Поэтому на основании комплексного анализа монобазисных поверхностей, построенных по тальвегам водотоков разных порядков, можно проследить стадии развития рельефа в целом и эволюцию отдельных новейших структур, выраженных в этом рельефе. В данном исследовании построения модели речной сети и монобазисных поверхностей проводились по методике, адаптированной для неотектонических исследований путём автоматического расчёта [10–12] с применением стандартных методик [8].

Основой морфоструктурного анализа послужила цифровая модель рельефа SRTM3 v.3 с разрешением 3" (рис. 1), по которой была рассчитана сеть водотоков, классифицированных на порядки (рис. 2). Порядок водотока повышался только при слиянии водотоков одного порядка [19, 14, 15]. Рассматривались все водотоки, водосборный бассейн которых равен $1.3 \times 10^5 \text{ м}^2$ (200 элементарных ячеек ЦМР). Таким водотокам присваивался первый порядок. Всего было выделено 10 порядков водотоков, причём 10-й порядок был присвоен р. Амур искусственно, как водотоку самому большому и древнему, водосборный бассейн которого превышает размер изучаемой области (рис. 2). Водотоки 8 и 9 порядков единичны, поэтому они, как и водоток 10-го порядка, не включались в дальнейшую обработку и анализ. Полагаем, это никак не повлияло на итоговый результат оценки новейших вертикальных движений.

Для водотоков 1–7 порядков (количество которых превышало 250 000) был построен набор монобазисных и разностных поверхностей (Приложения П1–П13), отражающих развитие рельефа в период между заложением водотоков разных порядков [15]. С целью исключения артефактов, обусловленных особенностями алгоритмов интерполяции, монобазисные поверхности интерполировались линейно со сглаживанием методом ближайшего окружения (алгоритм Average Nearest Neighbor [18]).

Для определения влияния литологического состава пород на формирование рельефа на двух участках территории — хребты Сихотэ-Алинь на юго-востоке и Дусе-Алинь на севере-западе анализируемой территории, в пределах которых есть выходы пород с различной компетентностью и стойкостью к выветриванию (докембрийские и меловые граниты, терригенные породы различной литологии и возраста), был проведён анализ

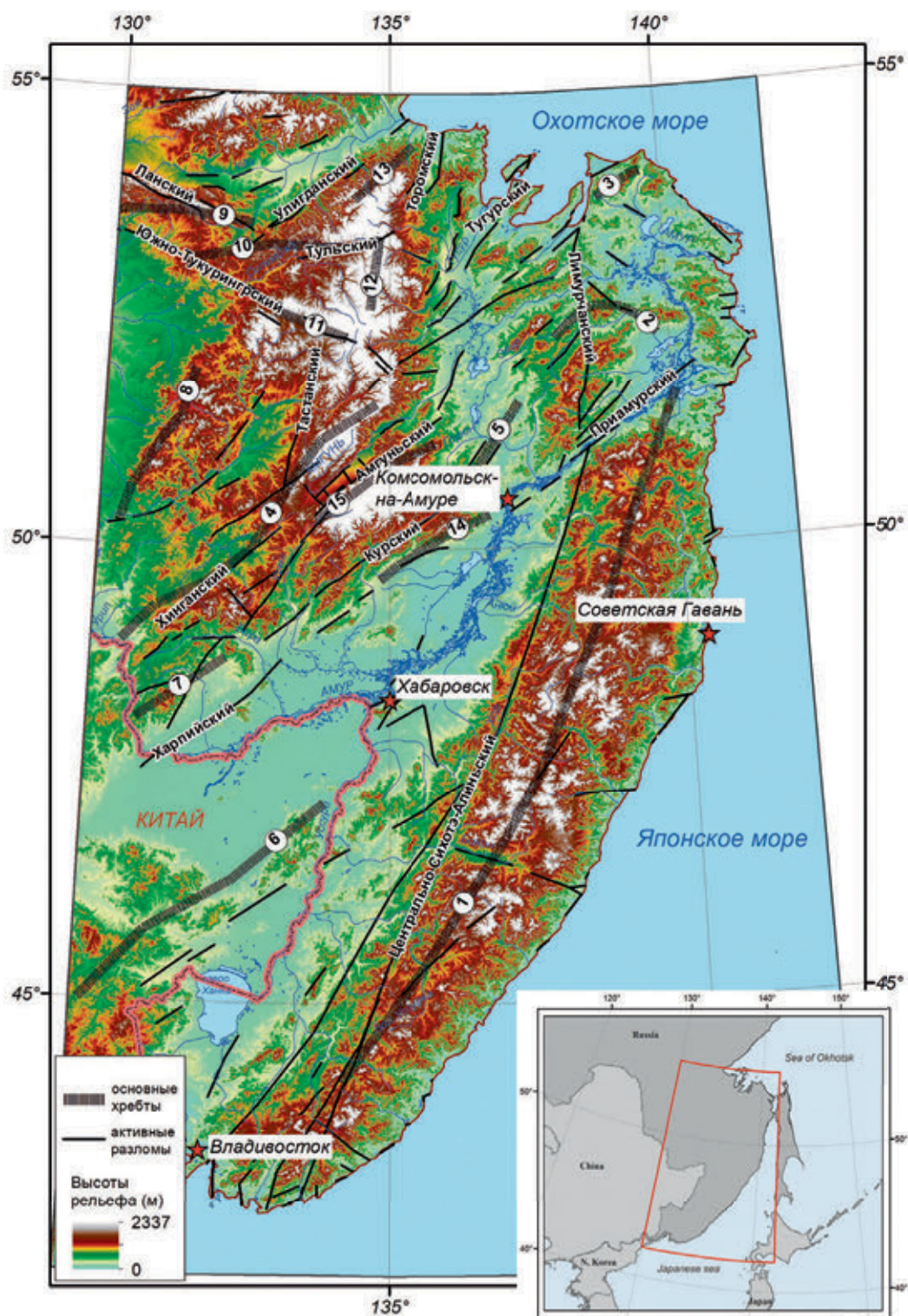


Рис. 1. Цифровая модель рельефа юга Дальнего Востока России с указанием основных активных разломов и хребтов, положение района работ (врезка) на географической карте восточной окраины Евразии. Цифрами указаны хребты: 1 – Сихотэ-Алиньский, 2 – Чантын, 3 – Мевачан, 4 – Буреинский, 5 – Мяочан, 6 – Вандашань, 7 – Ку-канский, 8 – Туранский, 9 – Джагды, 10 – Селемджинский, 11 – Эзоп, 12 – Ямалин, 13 – Тайкан, 14 – Джаки-Унахта-Якбыяна, 15 – Баджалский.

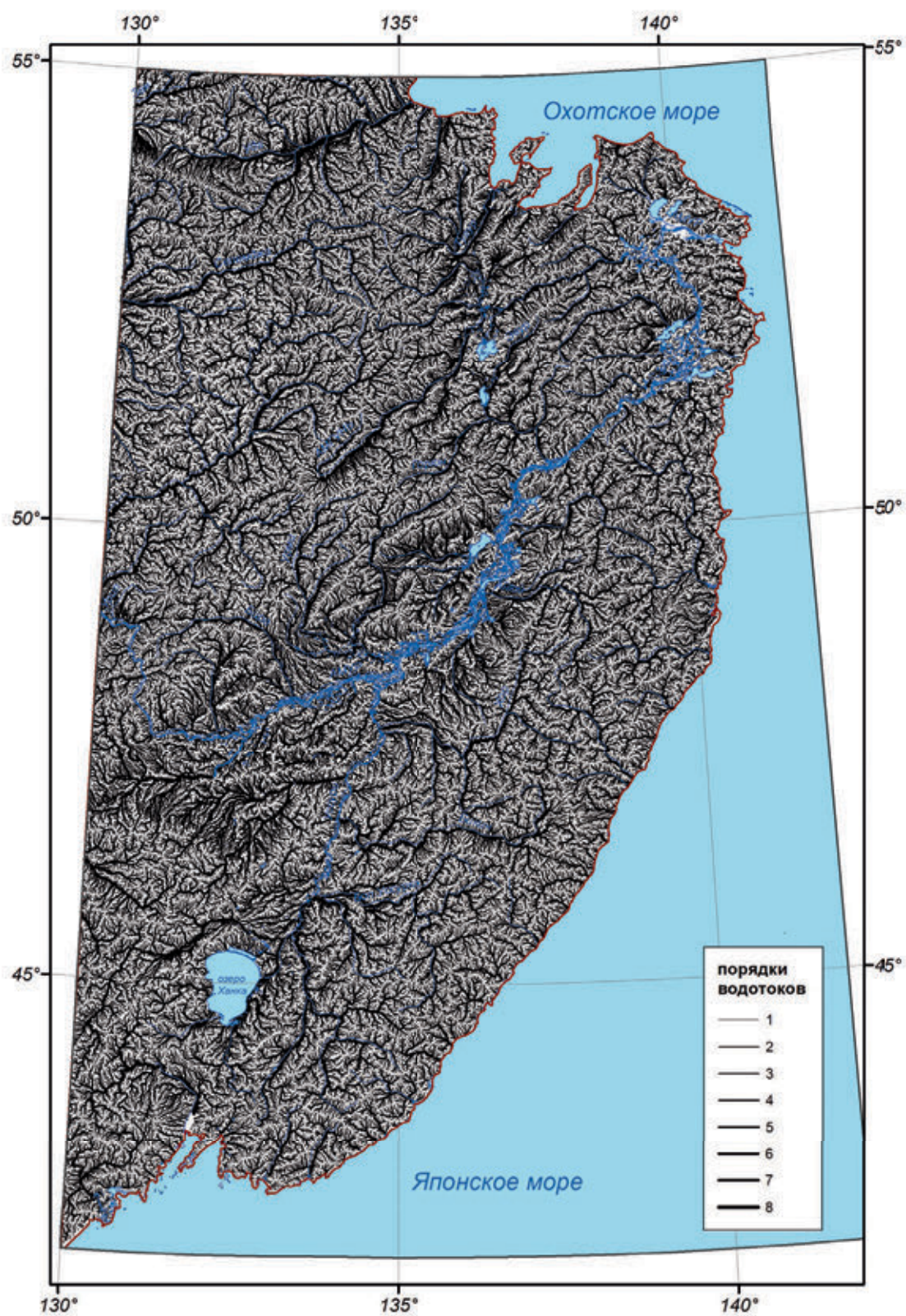


Рис. 2. Рассчитанная модель гидросети. Цифрами указаны порядки долин.

остаточного рельефа (разностная поверхность между современным рельефом и монобазисной поверхностью 1-го порядка), с одной стороны, и крутизны склонов, с другой. Установлено, что литология пород в масштабе проводимых исследований не оказывает определяющего влияния на формы рельефа, и этим фактором в значительной степени можно пренебречь. Это объясняется тем, что в ходе формирования древнего развивающегося достаточно длительное время рельефа влияние прочности слагающих рельеф пород может в значительной степени нивелироваться. Кроме того, поскольку профили равновесия водотоков старше 3-го порядка в основном выработаны, и уклоны долин не превышают 3, полагаем, что наличие областей высокого остаточного рельефа с крутыми склонами может быть также объяснено длительной эрозией изначально высокого древнего рельефа до сих пор не достигшего равновесия.

Расчёт вертикальных новейших движений проводилось только за счёт математической обработки цифровой модели рельефа без предварительного дешифрирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОРФОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

Конфигурация наиболее древнего рельефа в пределах изучаемой области, который можно проанализировать предлагаемым методом, отображается в монобазисной поверхности, построенной по долинам водотоков 7-го порядка (Прил. П1). Надёжных маркеров возраста этого рельефа нет, но можно предположить, что данная поверхность отражает рельеф, существовавший до того, когда в пределах эоценовых рифтовых впадин ещё не сформировались крупные транзитные водотоки, например, р. Амгунь в пределах Верхнеамгунской межгорной впадины, которые в принятой в данном исследовании модели гидросети имеют 6-й порядок.

Анализ монобазисной поверхности 7-го порядка (Прил. П1) позволяет предположить, что в эоцене (доолигоценое время) существовал достаточно высокий, асимметричный, с крутым восточным и пологим западным склонами — это Буреинский хребет на западе и более низкий хребет Сихотэ-Алинь на востоке. Причём, восточнее Эврон-Чукчагирской низменности и севернее современного русла Амура в его нижнем течении высокого рельефа, вероятно, не было.

Постэоценовый рельеф, отражающийся в монобазисной поверхности 6-го порядка

(Прил. П2), сформировался после того, как в пределах кайнозойских рифтовых впадин уже сформировались крупные транзитные реки, такие как Амгунь. Буреинский хребет в это время наряду с эрозией мог испытывать воздымание. К этому времени, как показывает анализ разностной поверхности между базисными поверхностями 6 и 7 порядков, наибольшее приращение рельефа до 400 м отмечается в южной части хребта, в то же время, по периферии хребта отмечается значительная эрозия. Северная часть хребта Сихотэ-Алинь также могла испытывать воздымание, но менее значительное: максимальное приращение рельефа не превышало 280 м. При этом важно отметить, в это время (постэоценовое) началось, хотя и незначительное, поднятие территории севернее современного русла р. Амур в его нижнем течении — хребты Хоми и Чаятын. Русло речной системы, объединявшей реки Сунгари, Уссури, Амур (севернее г. Хабаровск), Амгунь и другие, в олигоцене (?), вероятнее всего, проходило по Эврон-Чукчагирской системе погружений на север в сторону Охотского моря. Наше предположение на основе анализа данных о неотектонических вертикальных движениях о другом положении обозначенной выше речной системы согласуется с предположением В.А. Мелиоранского, сделанного почти век назад: “р. Амур в эту фазу уже не вливалась в Японское море в связи с небольшим тектоническим поднятием в районе озёр Кади и Кизи, устранившим доступ к этому морю, и нашла себе выход па север, используя для этого нижний участок долины р. Амгуни” (цитируется по [7]).

Южнее р. Бикин наибольшие высоты этого древнего рельефа отмечались севернее р. Б. Уссурка, в то время как на юге высота рельефа была незначительной. Рельеф, отражающийся в монобазисной поверхности 5-го порядка (Прил. П3), в пределах Центрального Сихотэ-Алиня можно датировать олигоценом, временем формирования песчаников и конгломератов угловинской свиты. Фрагменты отложений этого возраста сохранились в долинах крупных рек хребта Сихотэ-Алинь [12]. Анализ данной монобазисной поверхности, а также разностной поверхности 5 и 6 порядков (Прил. П12), позволяет предположить, что в это время начинается крупная перестройка в нижнем течении р. Амур. Буреинский хребет продолжал испытывать умеренный рост. Территория севернее Приамурского разлома начинает испытывать более интенсивное воздымание. Вероятно, в это поднятие была вовлечена и Эврон-Чукчагирская система погружений. В это же время начинает формироваться современная

антецедентная долина р. Амур, заложившаяся вдоль Приамурского разлома [12].

Происходило также относительно равномерное воздымание всего хребта Сихотэ-Алинь, несколько более интенсивное в областях севернее рек Б. Уссурка и Бикин [11]. Вдоль Центрального Сихотэ-Алиньского разлома в это время значительных вертикальных смещений не выявляется. Важно отметить достаточно интенсивную эрозию древнего рельефа на площади между оз. Ханка и заливом Петра Великого, что может свидетельствовать о южном направлении стока рек западного склона южной части хребта Сихотэ-Алинь. Это согласуется с построениями А.П. Сорокина с соавторами [13], согласно которым до кардинальной структурной перестройки в неогеновое (?) время современный нижний участок р. Амур (речная система, объединявшая реки Сунгари, Усури, Амгунь и др.) не являлся продолжением её современных верхнего и среднего участков (рр. собственно Амур, Зея, Бурей, Ляохе и др.). Сток последних был направлен на юг в бассейн Сунляо и далее в залив Бохайвань Жёлтого моря.

На основании анализа монобазисной поверхности 4-го порядка и разностной поверхности 4-го и 5-го порядков (Прил. П12) можно сделать вывод, что ко времени начала формирования современного рельефа произошла активизация крупных разломов, в том числе главного структурного шва горной системы Сихотэ-Алинь — Центрального Сихотэ-Алиньского разлома. Области восточнее разлома, испытывали достаточно интенсивное воздымание, в то время как западные области положительного приращения рельефа фрагментарны и области с нулевым приращением высот рельефа занимают большие площади. Вертикальные движения в этот период здесь полностью компенсировались эрозией и осадконакоплением. В областях восточнее Центрального Сихотэ-Алиньского разлома интенсивность воздымания, в целом, в это время превосходила интенсивность эрозии [11]. Вместе с тем необходимо отметить интенсивную эрозию более древнего рельефа вдоль активизированных разломов, пересекающих крупные водотоки, и формирование своеобразных “уступов”, образовавшихся вследствие вертикальных движений по этим разломам. В это же время активизировались и разломы, секущие хребет Сихотэ-Алинь в широтном направлении. Области, расположенные между ними, испытывали вертикальные движения разной интенсивности. Наиболее значительное воздымание в это время испытала

область южнее 44° с.ш. Вероятно, именно в это время Амурская речная сеть приобрела современный облик, и сток рек западного склона южного Сихотэ-Алиня был перенаправлен с юга на север в современный нижний участок бассейна р. Амур. Начала формироваться антецедентная долина р. Амгунь между Омальским и Омальдинским хребтами. Важно отметить, что если хребет Сихотэ-Алинь в это время испытывает воздымание, то в пределах Буреинского блока начинают превалировать процессы эрозии и денудации. Данная активизация новейших движений предположительно была синхронна с проявлением миоцен-плиоценового базальтового вулканизма [11, 12].

Анализ базисных и разностных поверхностей 3—1 порядков (Прил. П5, П6, П 7, П8, П9, П10) даёт информацию о развитии региона в течение плейстоцена-голоцена. В начале плейстоцена произошла, в основном, стабилизация вертикальных тектонических движений. Приращение рельефа по всей площади изучаемой территории приблизительно одинаковое, интенсивность врезания (отрицательные значения разностной поверхности) достаточно высока. Положительное приращение рельефа в значительной степени можно объяснить именно процессами эрозии [11, 12]. Важно, что эрозия более интенсивна там, где на предыдущем этапе развития рельефа происходило наиболее интенсивное воздымание. Признаков вертикальных интенсивных движений по крупным разломам не отмечается. Области эрозии более древнего рельефа в долинах крупных рек перемещаются вверх по течению относительно тех областей эрозии, которые отмечались на предыдущем этапе, что указывает на попятную эрозию и выработку нового профиля равновесия этих рек. Такой же режим развития рельефа свойственен, в целом, для всего плейстоцена-голоцена.

КАРТА НОВЕЙШИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

В настоящее время нижнюю границу новейших тектонических движений в северной Евразии чаще всего принято относить к верхнему олигоцену-нижнему миоцену в Атлантическом и к плиоцену в Тихоокеанском сегментах [3]. Как показано выше, нам удалось проследить развитие рельефа юга Дальнего Востока предположительно с эоцена, то есть с более раннего времени. Причём проведённый анализ монобазисных поверхностей и их разностей показал, что новейшие движения в пределах изучаемой области

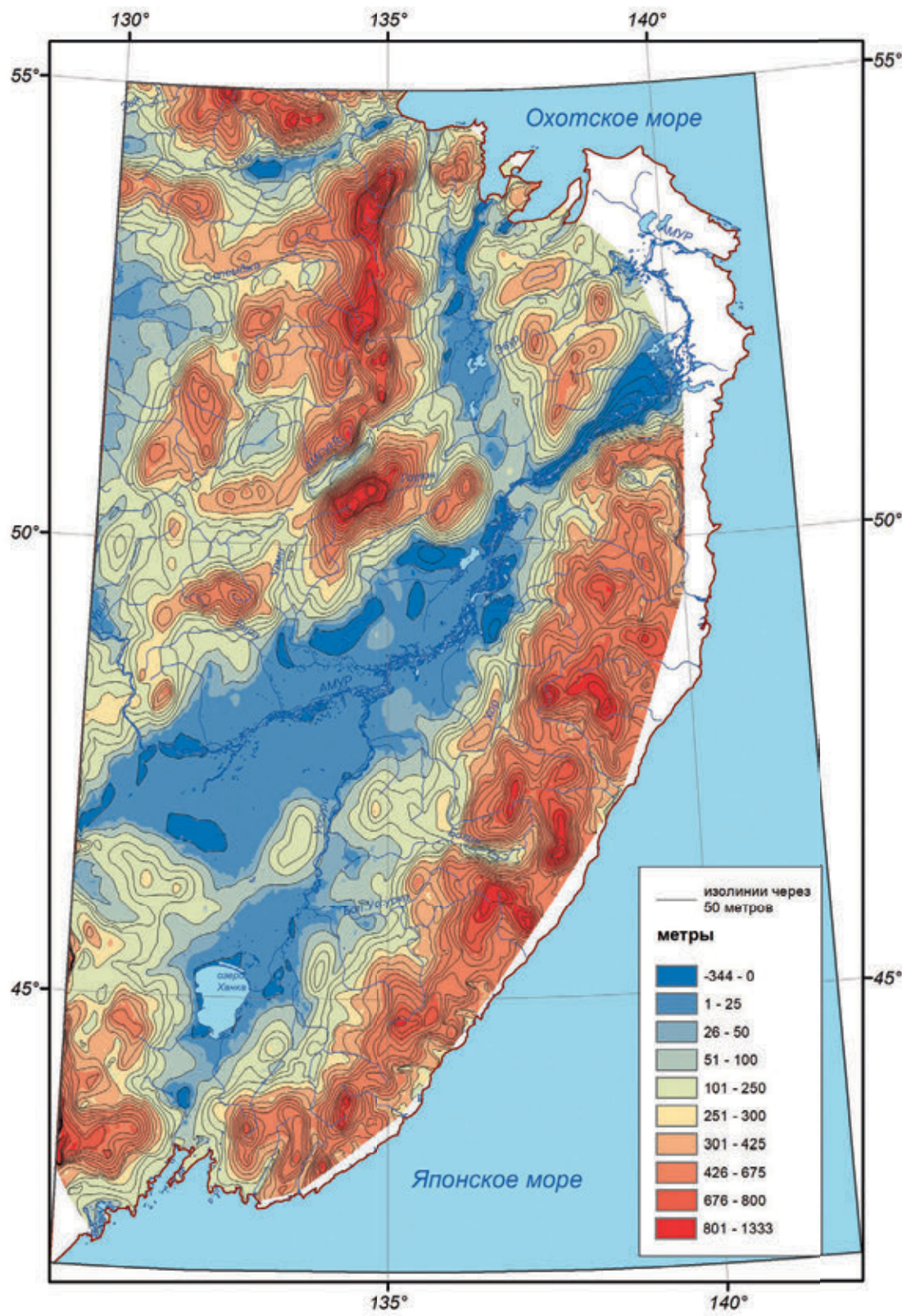


Рис. 3. Карта новейших вертикальных движений юга Дальнего Востока России. Горизонтالي проведены через 50 м.

проявлялись на фоне более древнего, уже сформированного и не до конца эродированного рельефа. Карта новейших вертикальных движений юга Дальнего Востока России представлена на рис. 3.

Неотектоническая активность в пределах рассматриваемой территории проявлялась неравномерно как во времени, так и в пространстве. В целом, можно выделить три этапа развития рельефа, отражающих различную по интенсивности неотектоническую активность:

1) Доолигоценый, выраженный в монобазисных поверхностях 5–7-го порядков и их разностях, характеризующийся более интенсивным ростом Буреинского хребта с положительными амплитудами до 700–800 метров в разных его частях, и более умеренным ростом хребта Сихотэ-Алинь, с амплитудами до 400 метров в северной его части, до 600 метров в центральной, и до 350 в южной. Так же на этом этапе произошла значительная структурная перестройка в нижнем течении Амура;

2) Олигоцен-плиоценовой активизации, выраженный в монобазисных поверхностях 5–4-го порядков и их разностью (Прил. П13), характеризующийся интенсивными вертикальными движениями. Размах положительных вертикальных амплитуд на этом этапе составил более +550 м;

3) Плейстоцен-голоценовый, выраженный в монобазисных поверхностях 3–1-го порядков и их разностях (Прил. П8, П9, П10), на протяжении которого значительных по амплитуде вертикальных движений не происходило. Размах вертикальных движений на этом этапе суммарно составил до 200 метров. Именно в это время оформился современный выработанный эрозионно-денудационный рельеф, то есть вертикальные движения в изучаемом регионе на этом этапе имеют унаследованный характер.

Базисная поверхность 7-го порядка (Прил. П1), отражающая доэоценовый рельеф, не позволяет охарактеризовать значительные площади в пределах Южного Сихотэ-Алиня и на побережье Охотского моря. Поэтому за начальную поверхность для расчёта амплитуды новейших вертикальных движений нами была принята базисная поверхность 6-го порядка. Следовательно, с помощью принятой в настоящем исследовании методики можно построить карту вертикальных тектонических движений начиная с конца эоцена. Следует отметить, что базисная поверхность 6-го порядка не может быть построена вдоль океанского побережья в силу того, что реки, впадающие непосредственно в Охотское и Японское

моря, имеют более низкий порядок, то есть прибрежный рельеф более молодой. Поэтому вдоль побережья невозможно отразить суммарную амплитуду вертикальных движений за постэоценовое время. Однако это касается только суммарной карты. Характер вертикальных движений в прибрежных областях отражён в разделе, посвящённом морфоструктурному анализу.

Поскольку высота начального рельефа, а также соотношение скорости новейших поднятий, с одной стороны, и скорости эрозионного вреза и денудации рельефа, с другой, не могут быть точно определены, за величину новейшего поднятия принята разность между наименее затронутыми и расчленёнными современной эрозионной сетью базисными поверхностями 4-го и 6-го порядков, отражающая воздымание с конца эоцена до плиоцена. За эрозионный врез, синхронный по времени с воздыманием, была принята медиана общего эрозионного вреза от дневной поверхности до базисной поверхности 4-го порядка. Таким образом, амплитуду вертикальных тектонических движений с конца эоцена по конец плиоцена будет отражать сумма разностной поверхности 4-го и 6-го порядков и поверхности медианы суммарного эрозионного вреза рельефа (Прил. П13).

Обращает на себя внимание то, что характер вертикальных движений Буреинского и Сихотэ-Алиньского хребтов в промежуток времени с эоцена до плиоцена значительно отличается. Буреинский хребет испытывал более интенсивное, чем хребет Сихотэ-Алинь, ассиметричное воздымание с более пологим западным, и более крутым восточным склоном на ранних этапах. Причём сам хребет расчленён заложившимися в олигоцене рифтообразными впадинами.

Амплитуда вертикальных движений в пределах хребта Сихотэ-Алинь в это время значительно меньше, и возрастает с юга на север. Следует отметить, что восточнее Центрального Сихотэ-Алиньского разлома участки с более высокими скоростями новейших движений имеют конфигурацию эшелонированных блоков.

Выше отмечалось, что в течение плейстоцена интенсивных вертикальных тектонических движений, вероятно, не происходило, и в основном преобладали процессы эрозии и денудации. Тем не менее, нами была предпринята попытка анализа этой денудационной части рельефа. Для этого были проанализированы высоты водоразделов сопряжённых рек (истоки разделены общим водоразделом). Такой анализ проводился отдельно для рельефа, расположенного выше

базисных поверхностей водотоков 3-, 2- и 1-го порядков, с целью выделения блоковой тектоники в раннем и среднем плейстоцене, верхнем плейстоцене-голоцене. Более высокие водоразделы сопряжённых рек, полностью окружающие рассматриваемый участок рельефа, свидетельствуют, полагаем, о наличии тектонического блока и его более интенсивном воздымании относительно окружающих участков.

Анализ показывает, что интенсивность вертикальных движений блоков в это время низкая, амплитуды редко превышают 100 м, и она существенно выше в пределах горной системы Сихотэ-Алиня по сравнению с Буреинским хребтом. Важно отметить, что в пределах первого, южнее Бикинского разлома (~46° с. ш.), можно выделить несколько эшелонированных блоков, границы которых практически совпадают с границами, выявленных на олигоцен-плиоценовом этапе. Севернее Бикинского разлома отмечаются более интенсивное воздымание центральной части Сихотэ-Алиньского хребта, а в его северной части активность вертикальных движений снижается.

В среднем плейстоцене общий структурный план неотектонических движений сохраняется, но их амплитуда становится существенно меньше, и границы выделяемых блоков становятся менее выраженными. К концу плейстоцена-началу голоцена вертикальные движения носят уже скорее сводовый, чем блоковый характер, и более интенсивно они проявлены на севере Буреинского хребта и в центральной части хребта Сихотэ-Алинь.

Карта вертикальных неотектонических движений (рис. 3) рассчитана как их сумма с конца олигоцена по голоцен, их размах составляет ~1540 м; от -220 м (район нижнего течения р. Амур вдоль хребта Хоми) до 1320 м (Баджальский хребет). Поскольку структурно-морфометрический метод не позволяет уверенно выявлять региональные отрицательные движения, а анализ скважин и строения осадочных бассейнов в рамках представленного исследования не проводился, отрицательные значения на суммарной карте вертикальных новейших движений в большинстве случаев свидетельствуют об интенсивности эрозионной переработке ранее существовавшего рельефа. Близкие к нулю значения характерны для областей, в пределах которых опускание было компенсировано осадконакоплением. Суммарная амплитуда вертикальных движений в пределах Буреинского хребта выше, чем в пределах горной системы Сихотэ-Алиня.

Однако, наиболее интенсивное воздымание Буреинского хребта, происходило до плейстоцена, хребет Сихотэ-Алинь более активен на поздних этапах развития, в том числе и в плейстоцене. Построенная нами карта новейших вертикальных движений в целом имеет сходство, в первую очередь качественное, с опубликованными ранее картами новейшей тектоники юга Дальнего Востока [2, 3], но при этом имеет существенные отличия в оценке как амплитуд новейших движений, так и их возраста. Более чётко, как нам представляется, наша карта отражает структурный план и блоковое строение региона.

Необходимо отметить, что все представленные в данном исследовании карты построены без учёта проявлений послееоценового вулканизма, в областях проявления которого амплитуды вертикальных неотектонических движений могут быть завышены. Это касается в основном восточного склона Сихотэ-Алиньского хребта, его центральной и северной частей, а также восточного борта Среднеамурского осадочного бассейна между 47 и 50 градусами северной широты. Определение насколько значительным может быть такое завышение, требует отдельного исследования.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании цифровой модели рельефа и построенной по ней модели гидросети проведён морфоструктурный анализ юга Дальнего Востока России, построены монобазисные поверхности, отражающие этапность неотектонического развития территории, и суммарная карта амплитуды вертикальных неотектонических движений. Новейшие вертикальные движения в регионе проявлялись на фоне более древнего, уже сформированного и не до конца эродированного рельефа. Выделены три стадии развития рельефа, отражающие неотектоническую активность в регионе: а) доолигоценовая, характеризующаяся более интенсивным воздыманием Буреинского хребта, и менее интенсивным — хребта Сихотэ-Алинь; б) олигоцен-плиоценовая, характеризующаяся наиболее интенсивными вертикальными движениями в регионе за рассматриваемый период — поздний эоцен-голоцен; в) плейстоцен-голоценовая, во время которой сформировался современный выработанный эрозионно-денудационный рельеф и значительных по амплитуде вертикальных движений не происходило.

2. Суммарная амплитуда вертикальных движений на северо-западе рассматриваемой территории в пределах Буреинской провинции выше, чем на востоке рассматриваемой территории в пределах Сихотэ-Алиньской провинции. Наиболее интенсивный подъём Буреинского хребта, проходил до плейстоцена, тогда как Сихотэ-Алиньский хребет был более активен на поздних этапах развития.

3. На основе проведённого анализа неотектонических вертикальных движений юга Дальнего Востока России здесь можно предполагать две крупных перестройки речной системы: а) русло речной системы, объединявшей реки Сунгари, Уссури, Амур (севернее г. Хабаровск), Амгунь и другие, в олигоцене (?), вероятнее всего, проходило по Эврон-Чукчагирской системе погружений в сторону Охотского моря, а не в сторону Татарского пролива; б) водотоки западного склона южной части хребта Сихотэ-Алинь до кардинальной перестройки речной сети в неогене (?) имели южный сток в бассейн рр. собственно Амур (средний и верхний участки современные русла современного Амура), Зея, Бурея, Ляохе. Течение этой речной системы было направлено на юг в сторону бассейна Сунляо и Жёлтого моря. Предположения о существовании этих двух перестроек речной сети юга Дальнего Востока были высказаны ранее [7, 13] и нашли подтверждение в наших результатах.

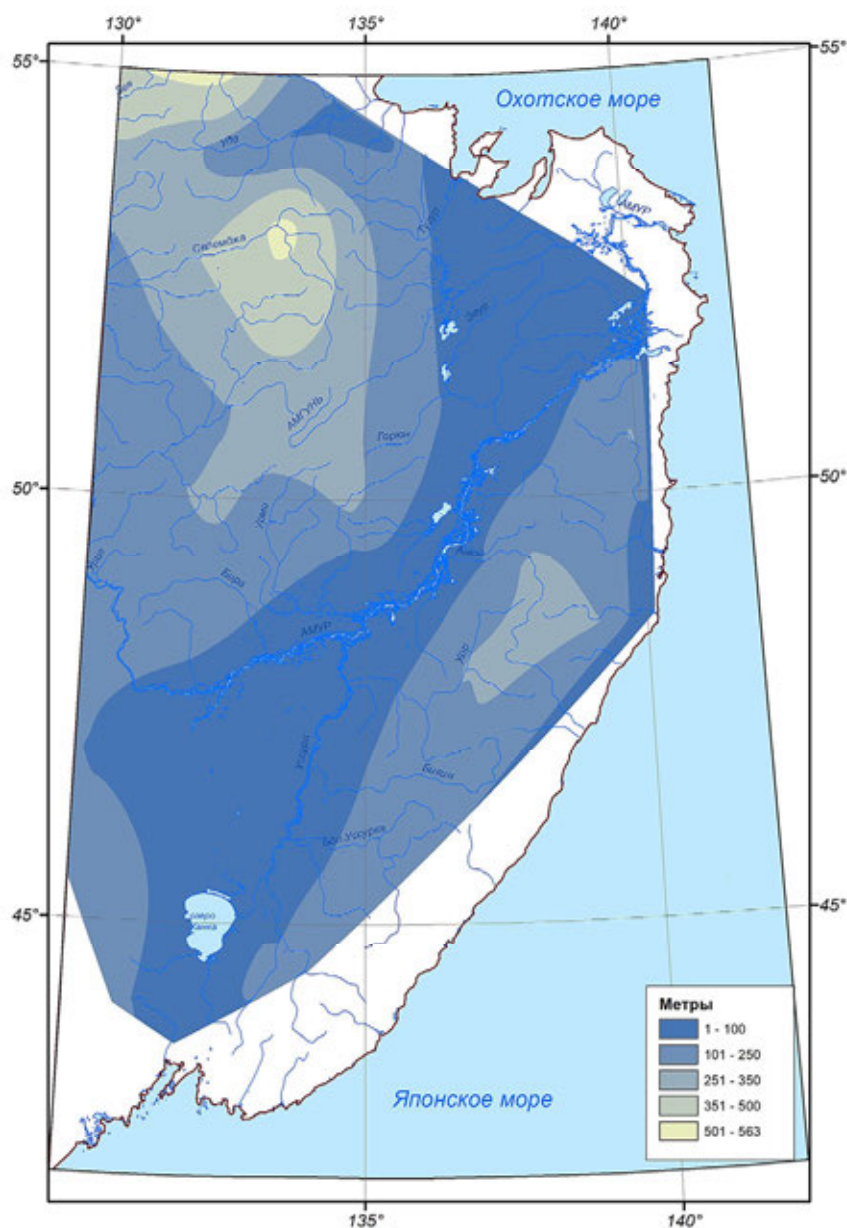
ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда (№ 22-17-00023). Базовое финансирование за счёт субсидий на выполнение госзадания: МГУ (тема НИР № 122022700010-3), ГИН РАН (тема № FMMG-2023-0010), ИТиГ ДВО РАН (тема НИР № 122041100043-8).

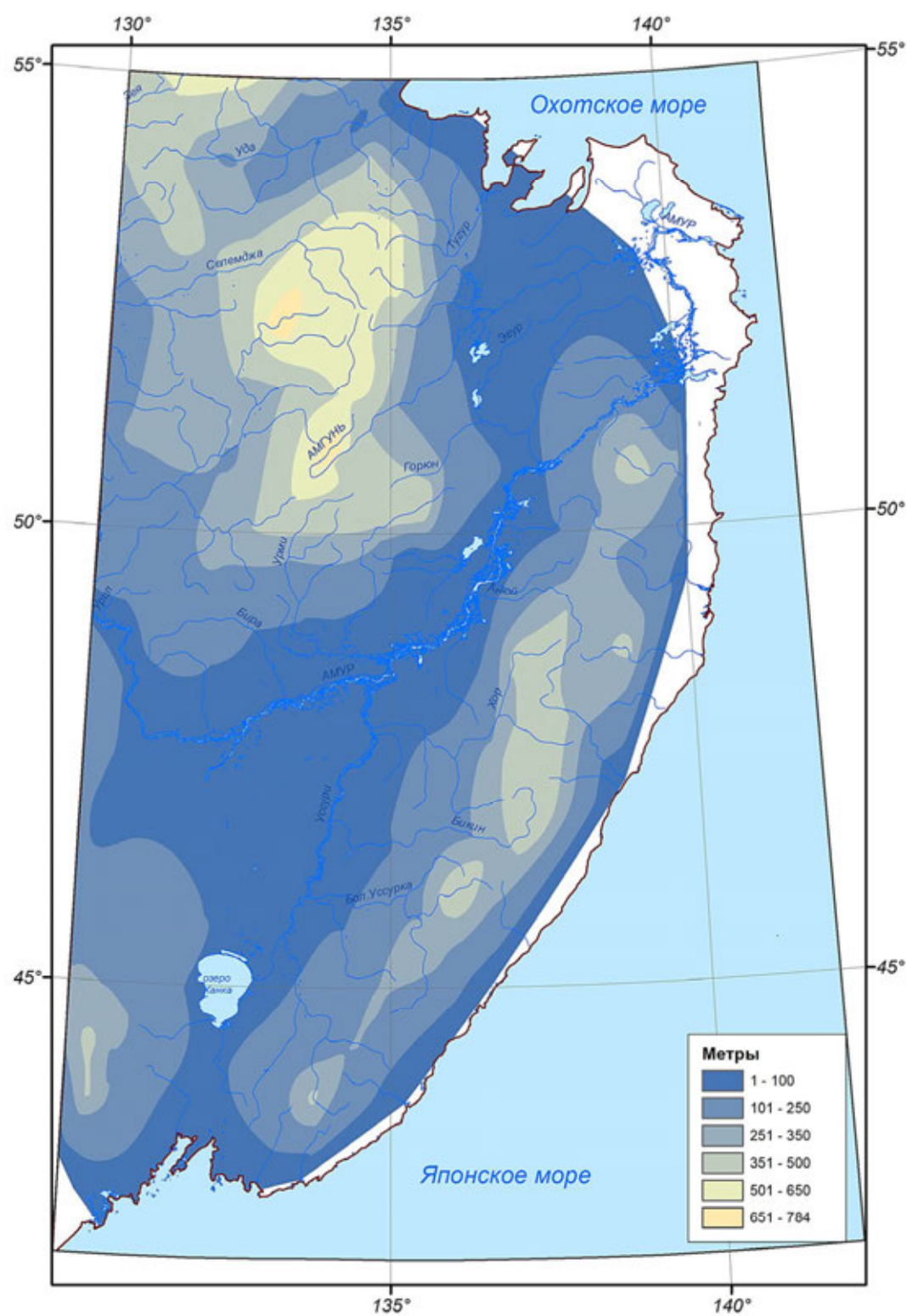
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: В 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток, Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с. Кн. 2. 409 с.
2. Горкуша С. В., Онухов Ф. С., Корчагин Ф. Г. Сейсмичность и неотектоника юга Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18(5). С. 61–68.
3. Грачев А. Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // Физика Земли. 1996. № 12. С. 5–36.
4. Диденко А. Н., Трофименко С. В., Быков В. Г., Меркулова Т. В., Гильманова Г. З. Оценка сейсмического риска территории континентальной части юга Дальнего Востока России. Хабаровск, 2018. 82 с.
5. Диденко А. Н., Носырев М. Ю. Плотностная структура литосферы Сихотэ-Алиньского орогенного пояса // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 492(2). С. 66–71.
6. Карта новейшей тектоники Северной Евразии. Масштаб 1:5000000. Главный редактор А.Ф. Грачев. Министерство природных ресурсов России. Всероссийский институт экономики минерального сырья и недропользования, 1997.
7. Линдберг Г. У. Крупные колебания уровня океана в четвертичный период. Биогеографические обоснования гипотезы. Л.: Наука, 1972. 548 с.
8. Нгуманов И. И., Нгуманова Е. В., Чернова И. Ю. Основы морфометрического метода поиска неотектонических структур. Казань: Казанский университет, 2016. 53 с.
9. Петров О. В., Зубова Т. Н., Вербицкий В. Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:100 000 // Регионал. геология и металлогения. 2016. № 67. С. 19–33.
10. Симонов Д. А., Захаров В. С., Брянцева Г. В. Комплексный структурно-геоморфологический, структурно-морфологический и фрактальный анализ вертикальных новейших движений Керченского полуострова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2019. № 5. С. 19–29.
11. Симонов Д. А., Захаров В. С., Гильманова Г. З., Диденко А. Н. Новейшие вертикальные движения Южно-Сихотэ-Алиня и характеристики самоподобия гидросети региона // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2020. (3). С. 25–36. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2020-3-25-36>
12. Симонов Д. А., Захаров В. С., Гильманова Г. З., Диденко А. Н. Новейшая тектоника Северного Сихотэ-Алиня и сопредельных территорий и ее отражение в характеристиках самоподобия гидросети // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2021. 1(5). С. 19–30. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-5-19-30>
13. Сорокин А. П., Махинов А. Н., Воронов Б. А., Сорокина А. Т., Артеменко Т. В. Эволюция бассейна Амура в мезозое-кайнозое и ее отражение в современной динамике рельефа // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 72–80.
14. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1960. 90 с.
15. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.

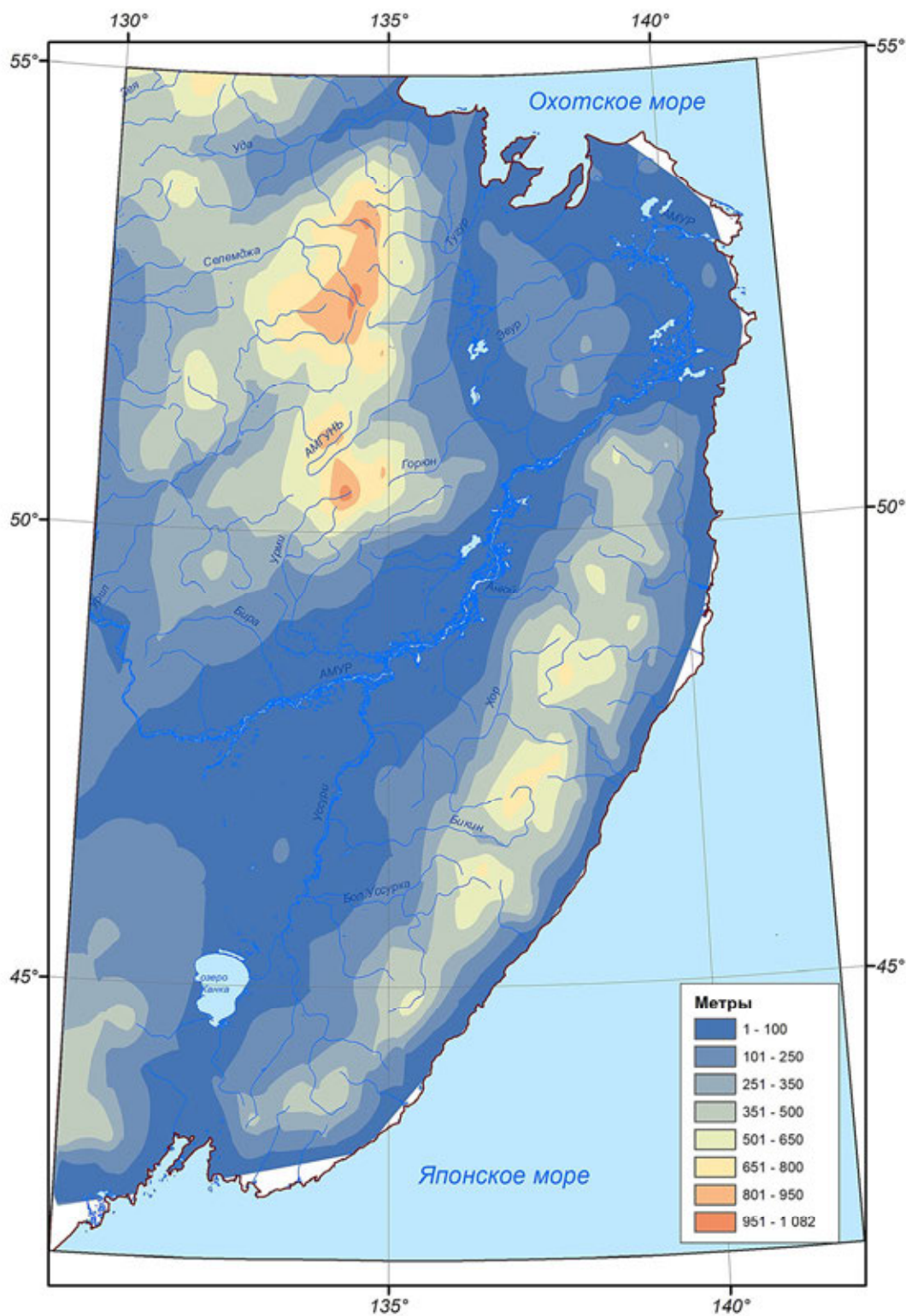
16. Ханчук А. И., Кемкин И. В., Кириллов В. Е., Иванов В. В., Кирьянов М. Ф., Трушин С. И. Ульбанский террейн (зона) как часть юрского аккреционного комплекса Сихотэ-Алинского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 3. С. 3–18. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-3-3-18.
17. Didenko A. N., Nosyrev M. Yu., Gil'manova G. Z. A Gravity-Derived Moho Model for the Sikhote Alin Orogenic Belt // Pure Appl. Geophys. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02842-8>
18. ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA, 2011.
19. Strahler A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology // Transactions of the American Geophysical Union. 1957. V. 38. № 6. P. 913–920.
20. Zakharov V. S., Didenko A. N., Gil'manova G. Z., Merkulova T. V. Characteristics of self-similarity of seismicity and the fault network of the Sikhote Alin orogenic belt and the adjacent areas // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. 10 (2). 541–559. doi:10.5800/GT-2019-10-2-0425.



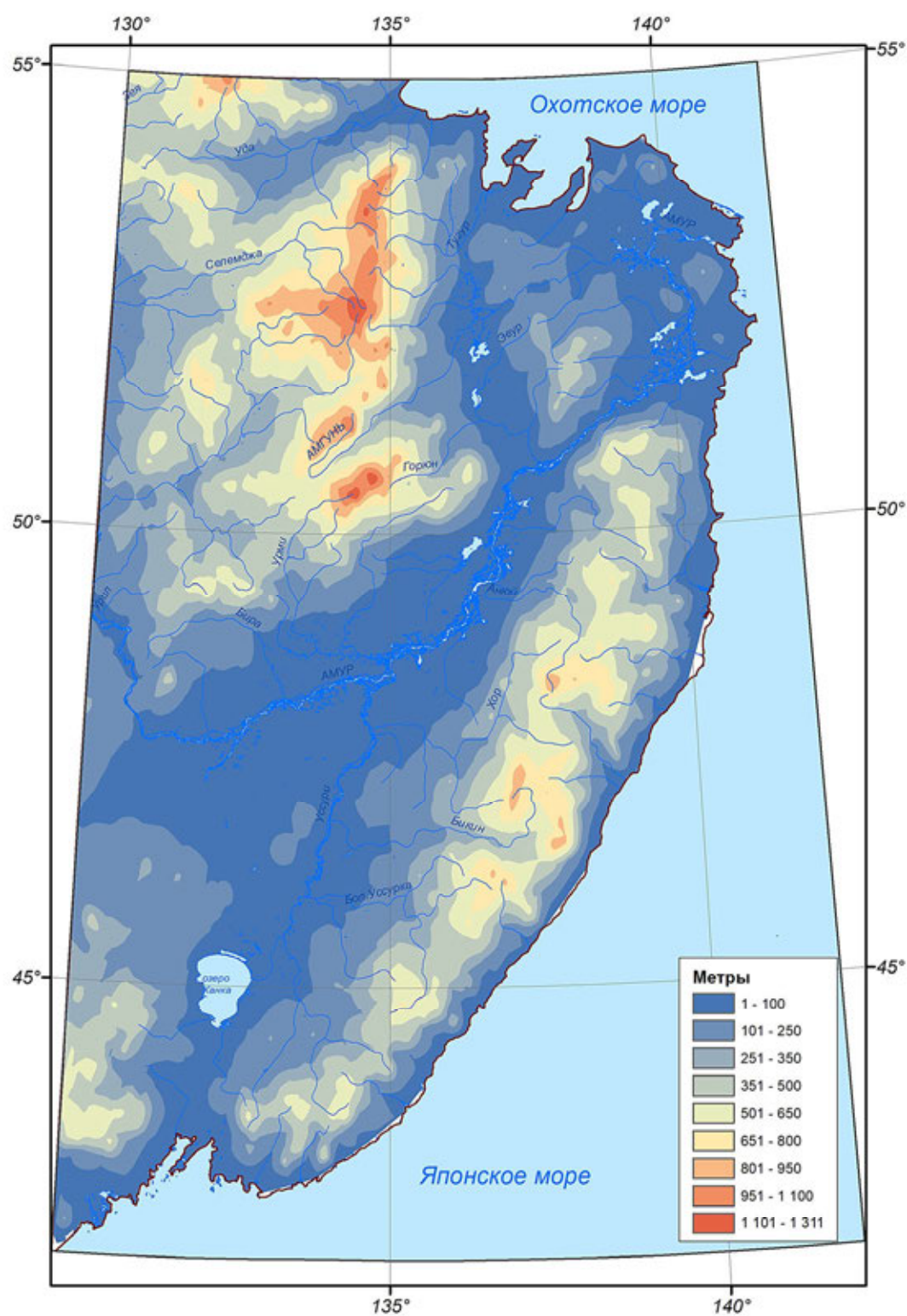
Приложение П1. Монобазисная поверхность 7 порядка.



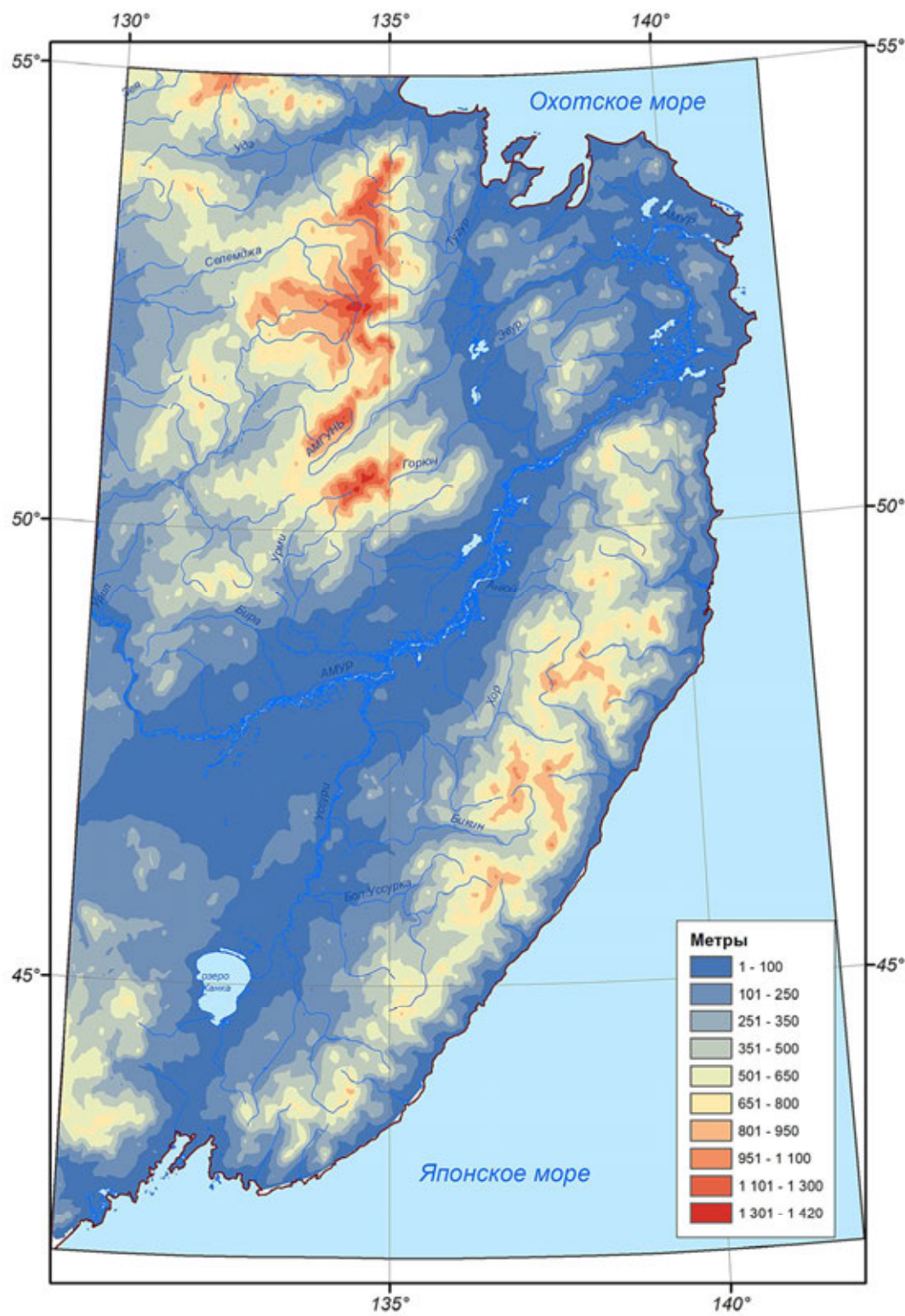
Приложение П2. Монобазисная поверхность 6 порядка.



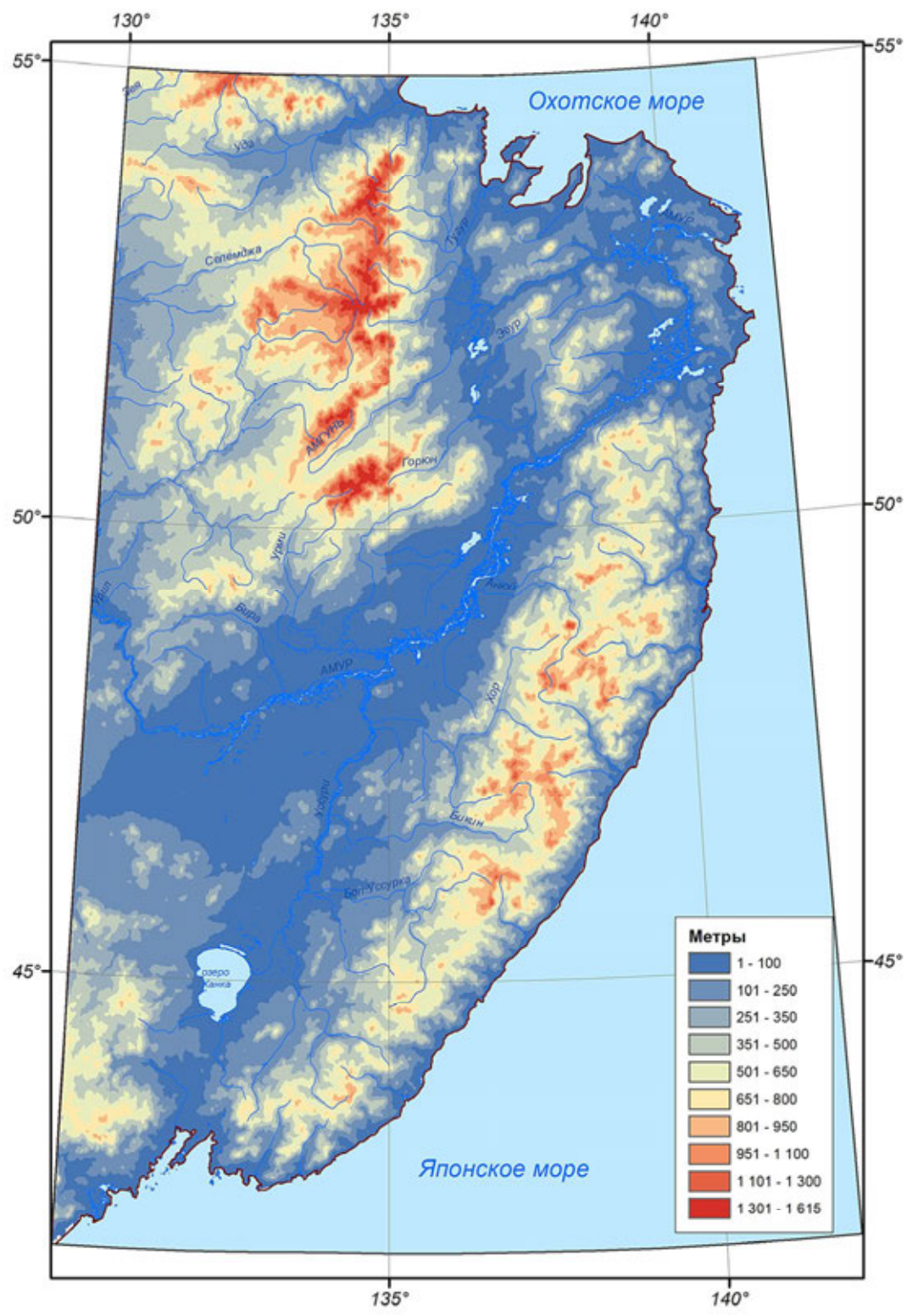
Приложение ПЗ. Монобазисная поверхность 5 порядка.



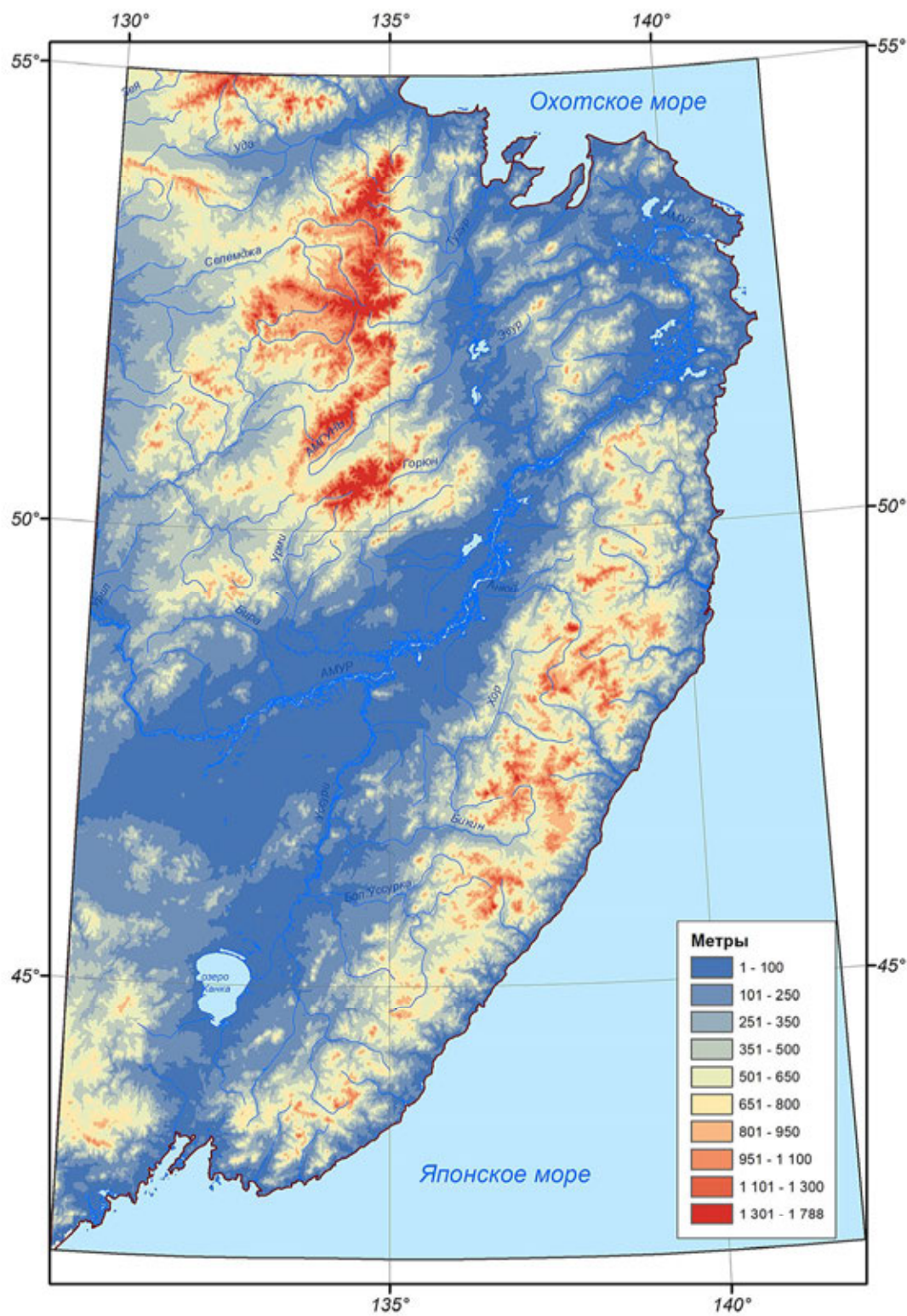
Приложение П4. Монобазисная поверхность 4 порядка.



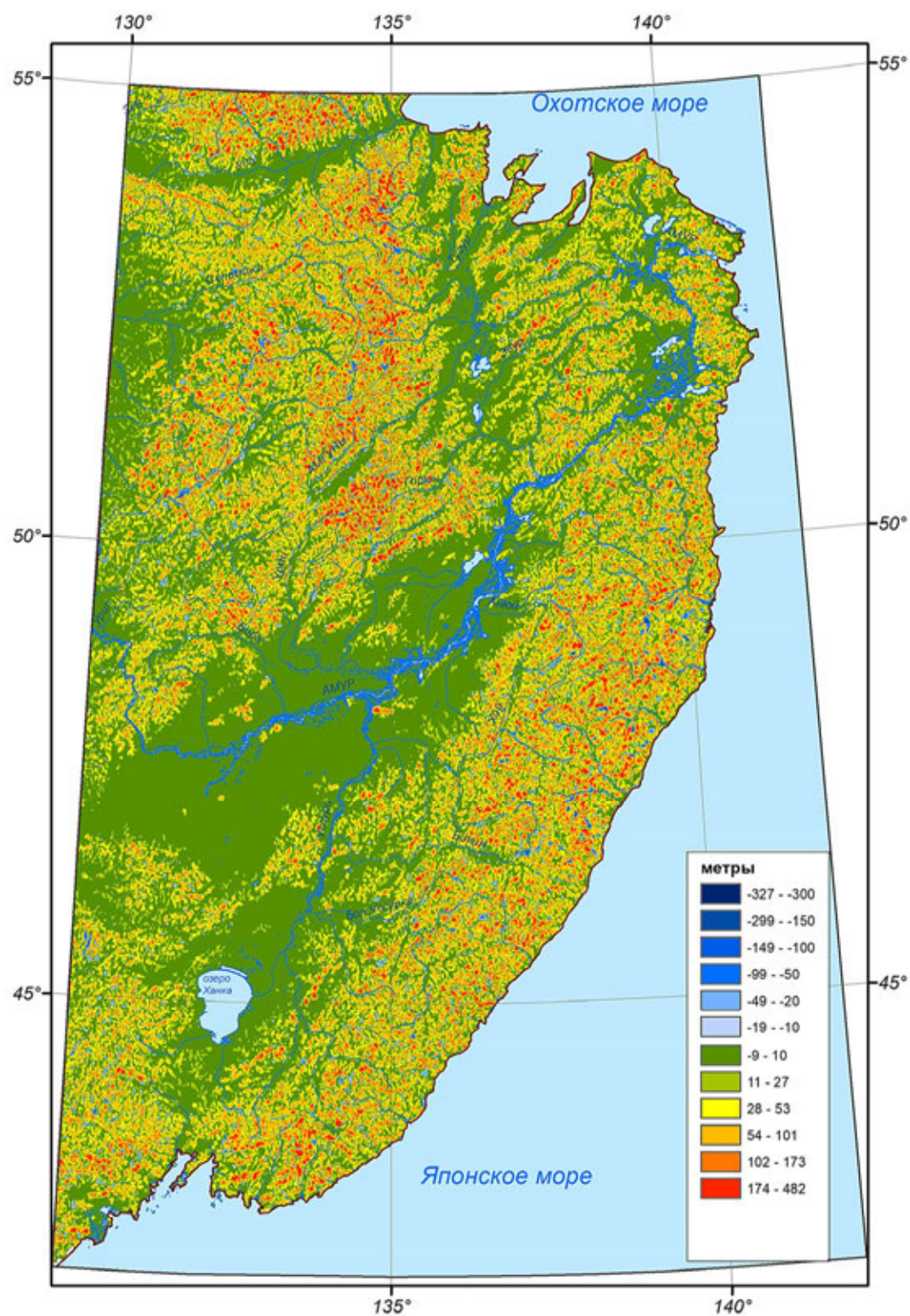
Приложение П5. Монобазисная поверхность 3 порядка.



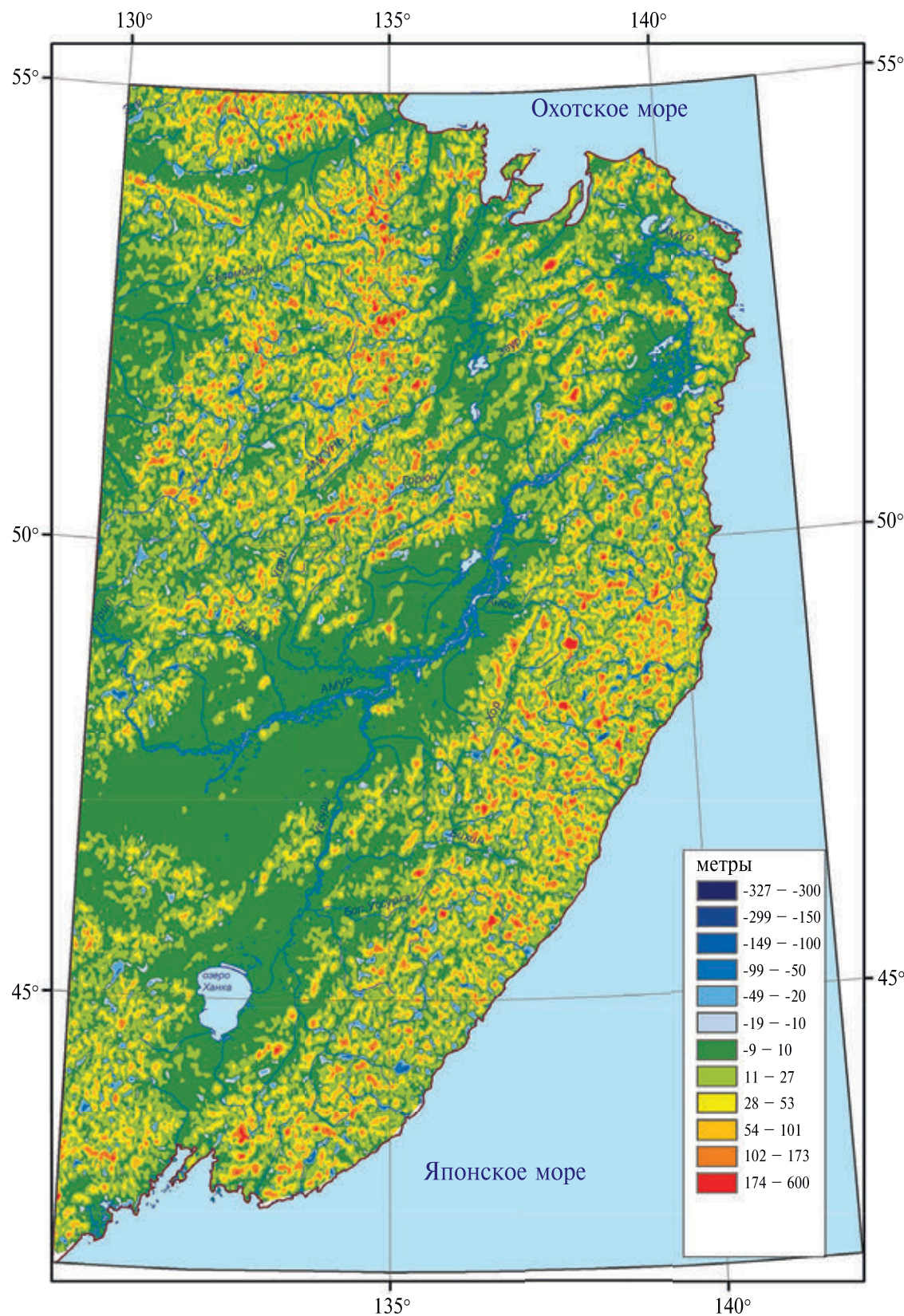
Приложение П6. Монобазисная поверхность 2 порядка.



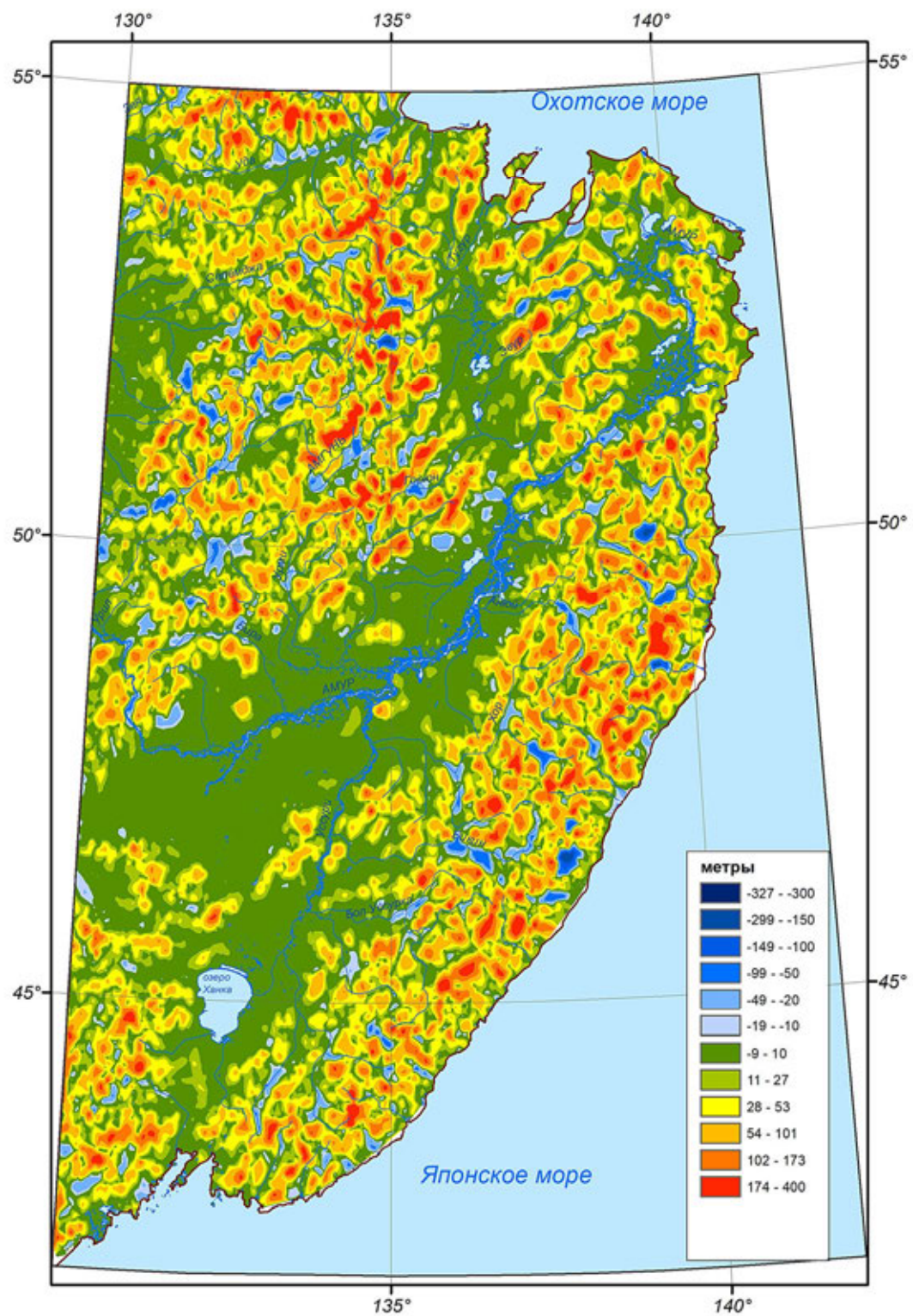
Приложение П7. Монобазисная поверхность 1 порядка.



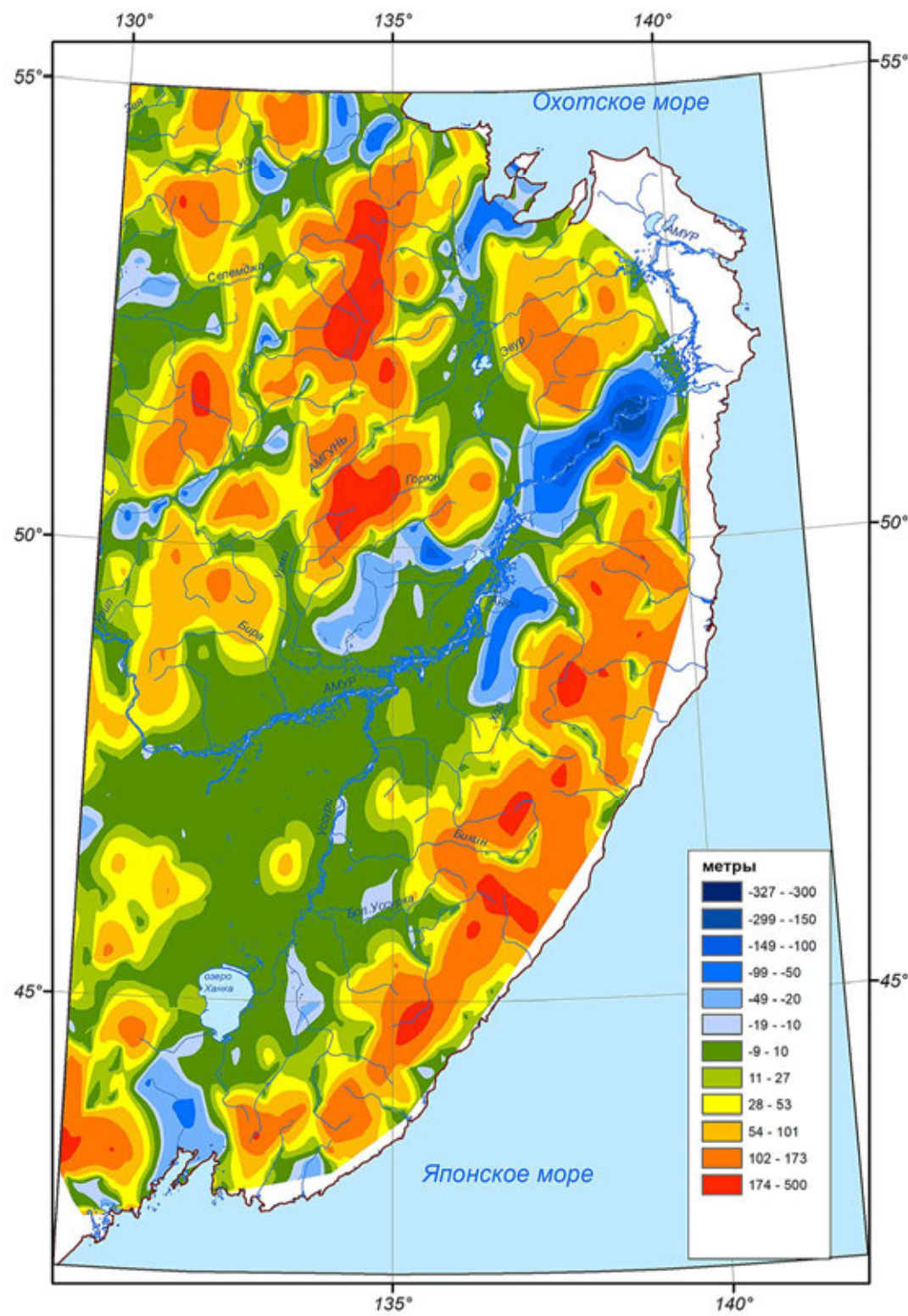
Приложение П8. Разностная поверхность 1 и 2 порядков.



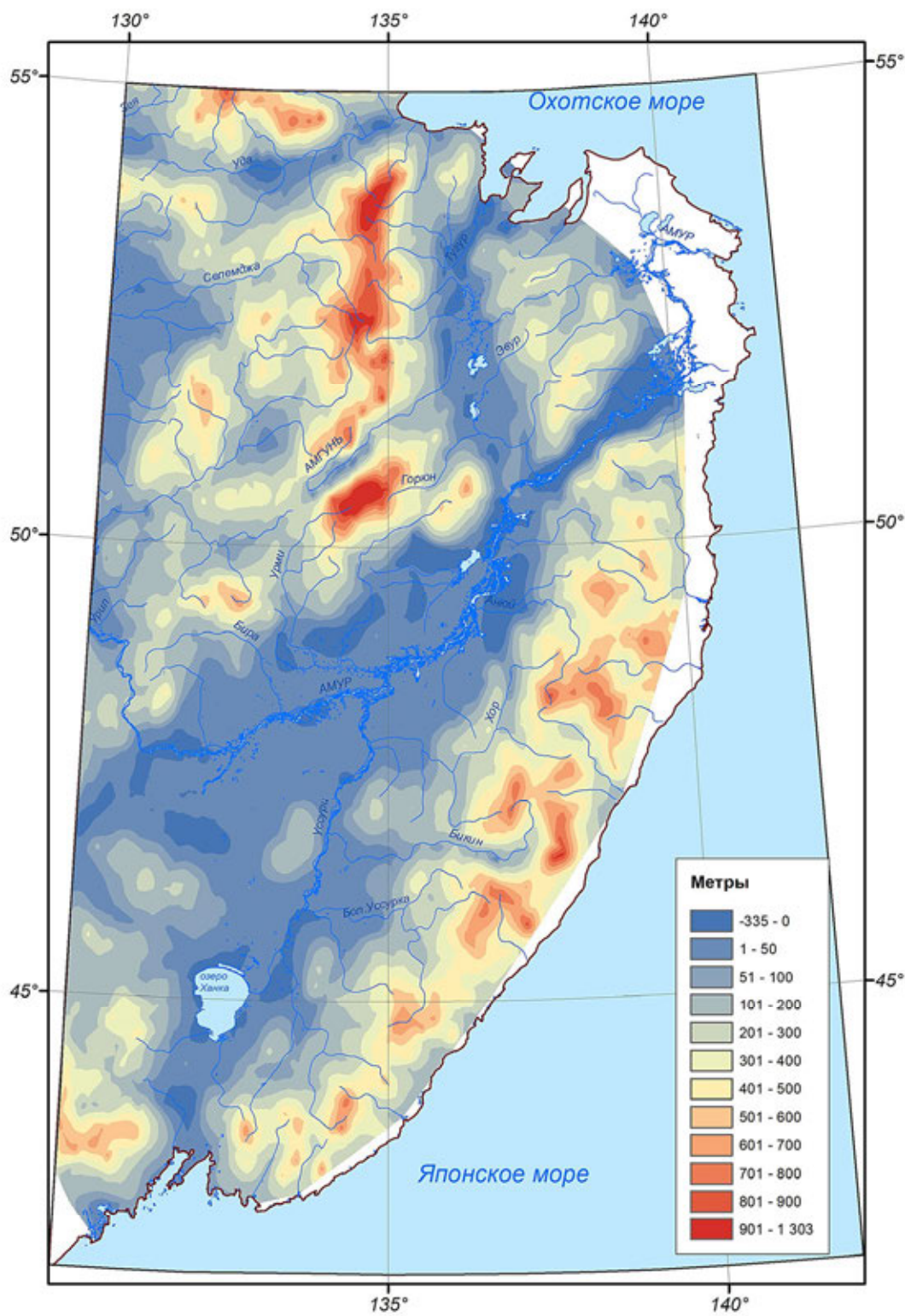
Приложение П9. Разностная поверхность 2 и 3 порядков.



Приложение П10. Разностная поверхность 3 и 4 порядков.



Приложение П12. Разностная поверхность 5 и 6 порядков.



Приложение П13. Суммарные вертикальные неотектонические движения за олигоцен — плиоцен.

LATE TECTONIC VERTICAL MOVEMENTS OF THE FAR EAST OF RUSSIA

D. A. Simonov^{a, #}, Corresponding Member of the RAS A. N. Didenko^{b, c}, V. S. Zakharov^a, G. Z. Gilmanova^c

^a*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, Russian Federation*

^b*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^c*Y.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Khabarovsk, Russian Federation*

[#]*E-mail: dsim_0@mail.ru*

Morphostructural analysis of the stream network of the south of the Far East has been carried out. It has been established that the latest vertical movements in the region were manifested against the background of an older, already formed and not fully eroded relief. Three stages of relief development are identified, reflecting neotectonic activity in the region: a) pre–Oligocene, characterized by a more intense uplift of the Bureinsky ridge, and less intense – the Sikhote-Alin ridge; b) Oligocene–Pliocene, characterized by the most intense vertical movements in the region during the period under review – late Eocene–Holocene; c) the Pleistocene is Holocene, during which a modern developed erosion-denudation relief was formed and no significant vertical movements occurred in amplitude. A map of the total amplitude of vertical neotectonic movements is constructed.

Keywords: latest tectonics, morphostructural analysis of the stream network, vertical movements, Russian Far East