



Д.А. Симонов¹, Г.З. Гильманова², В.С. Захаров¹, А.Н. Диденко^{2,3}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

²Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск

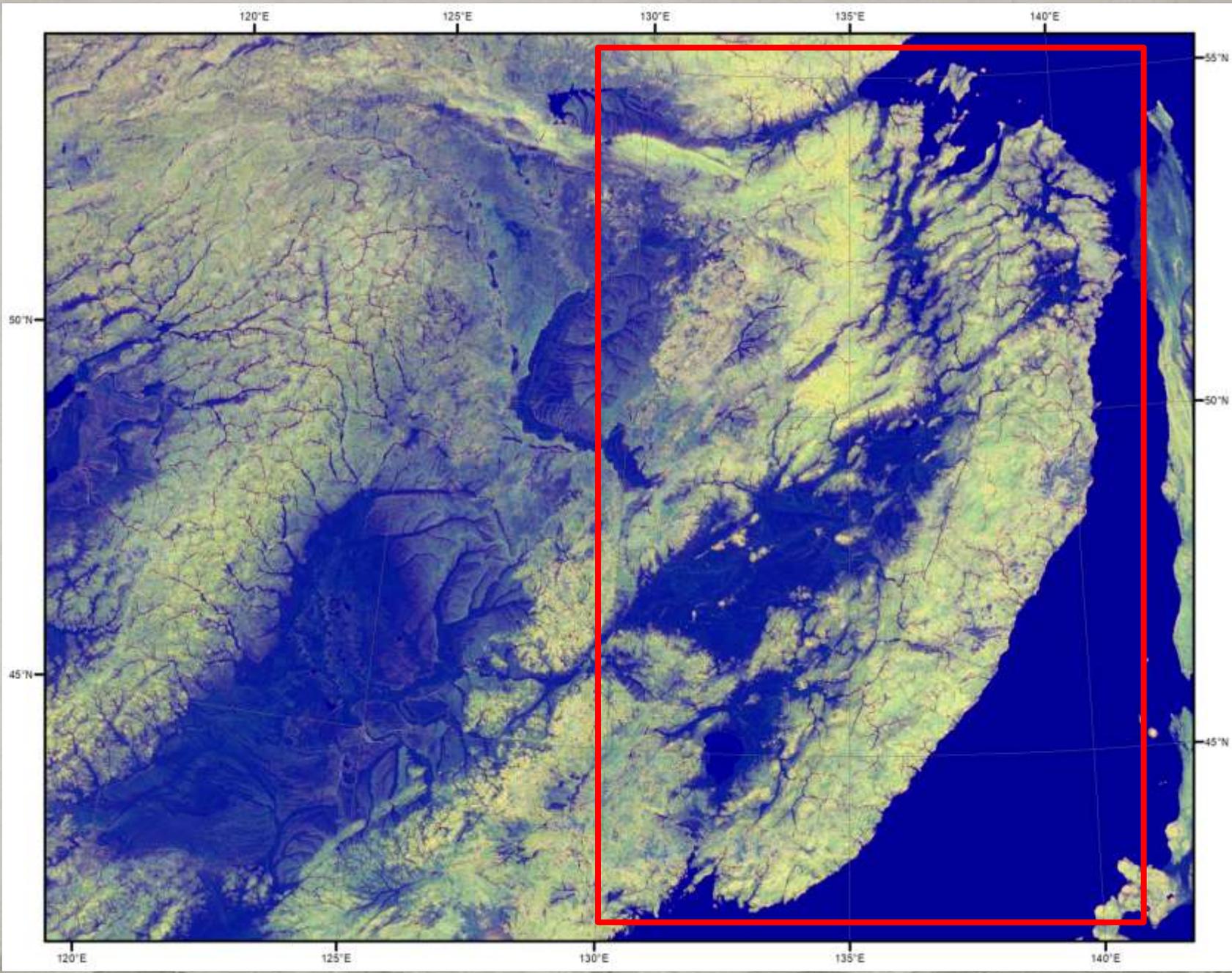
³Геологический институт РАН, Москва

Использование данных космической радиолокационной съемки (SRTMоз) для анализа новейшей тектоники юга Дальнего Востока России

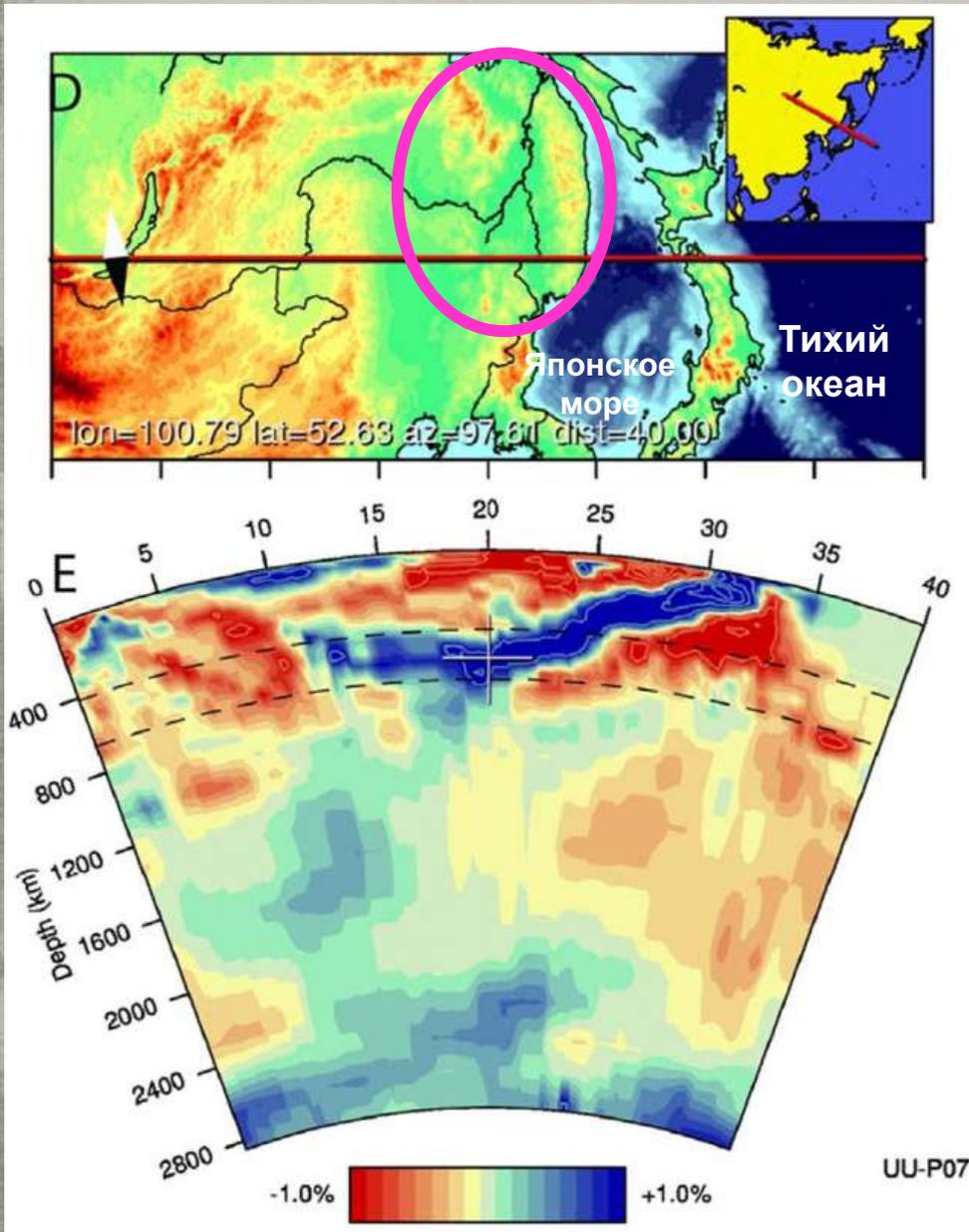


**XXII Международная конференция
“Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса”**

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект № 22-17-00023)*



ПОЛОЖЕНИЕ СИХОТЭ-АЛИНЯ НАД МАНЬЖУРСКОЙ (ЯПОНСКОЙ) МАНТИЙНОЙ АНОМАЛИЕЙ (Van der Meer et al., 2018)

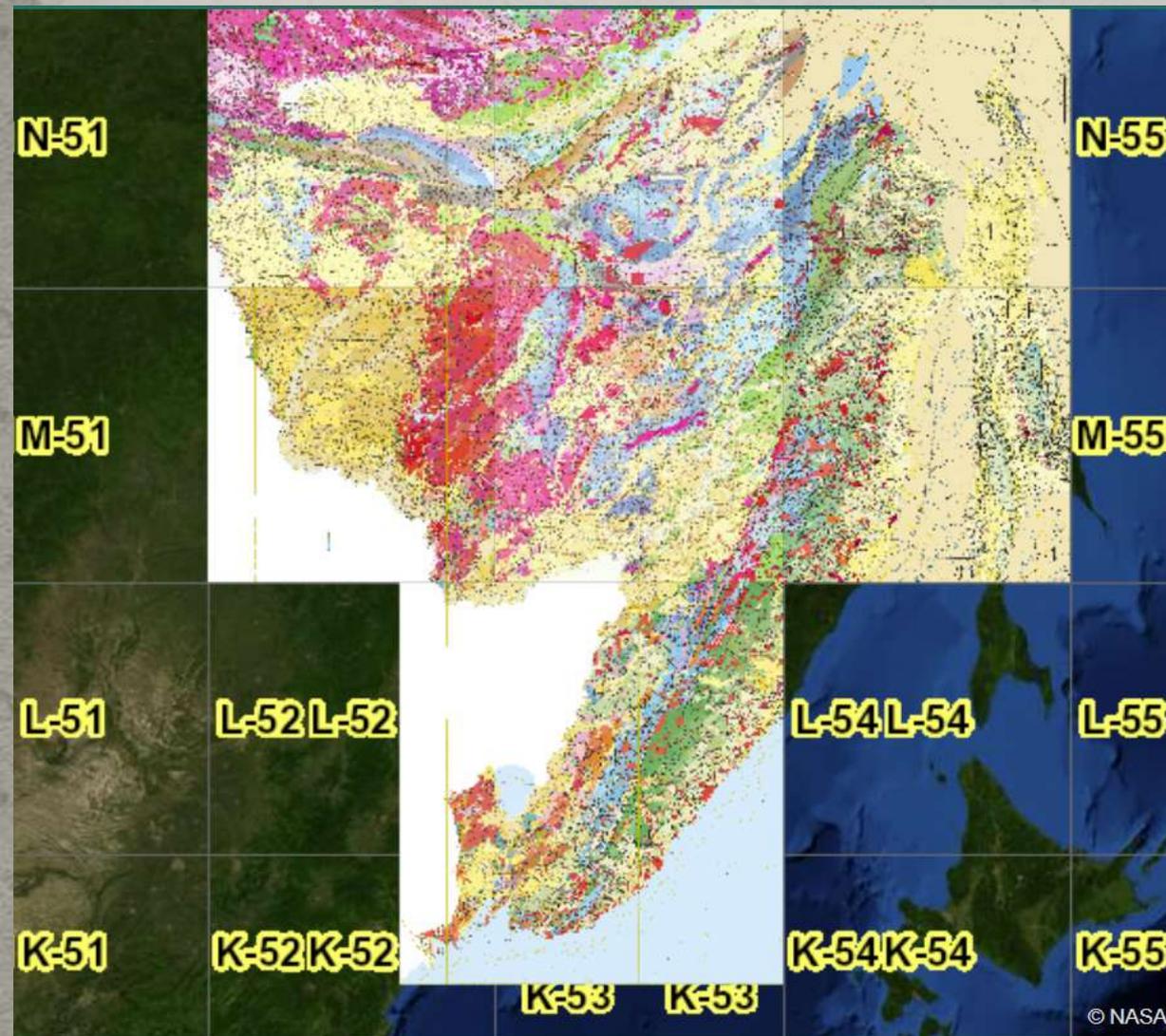


Маньчжурская мантийная аномалия интерпретируется как погружающаяся от зоны субдукции Японской островной дуги Тихоокеанская плита. Плита опускается на запад от зоны субдукции и проникает в верхнюю часть нижней мантии на расстоянии ~ 900 км от желоба.

Длина погружающейся части $\sim 12^\circ$, стагнирующей $\sim 8^\circ$

Скорость погружения: верх – 89 ± 9 , низ – 17 ± 4 мм/год

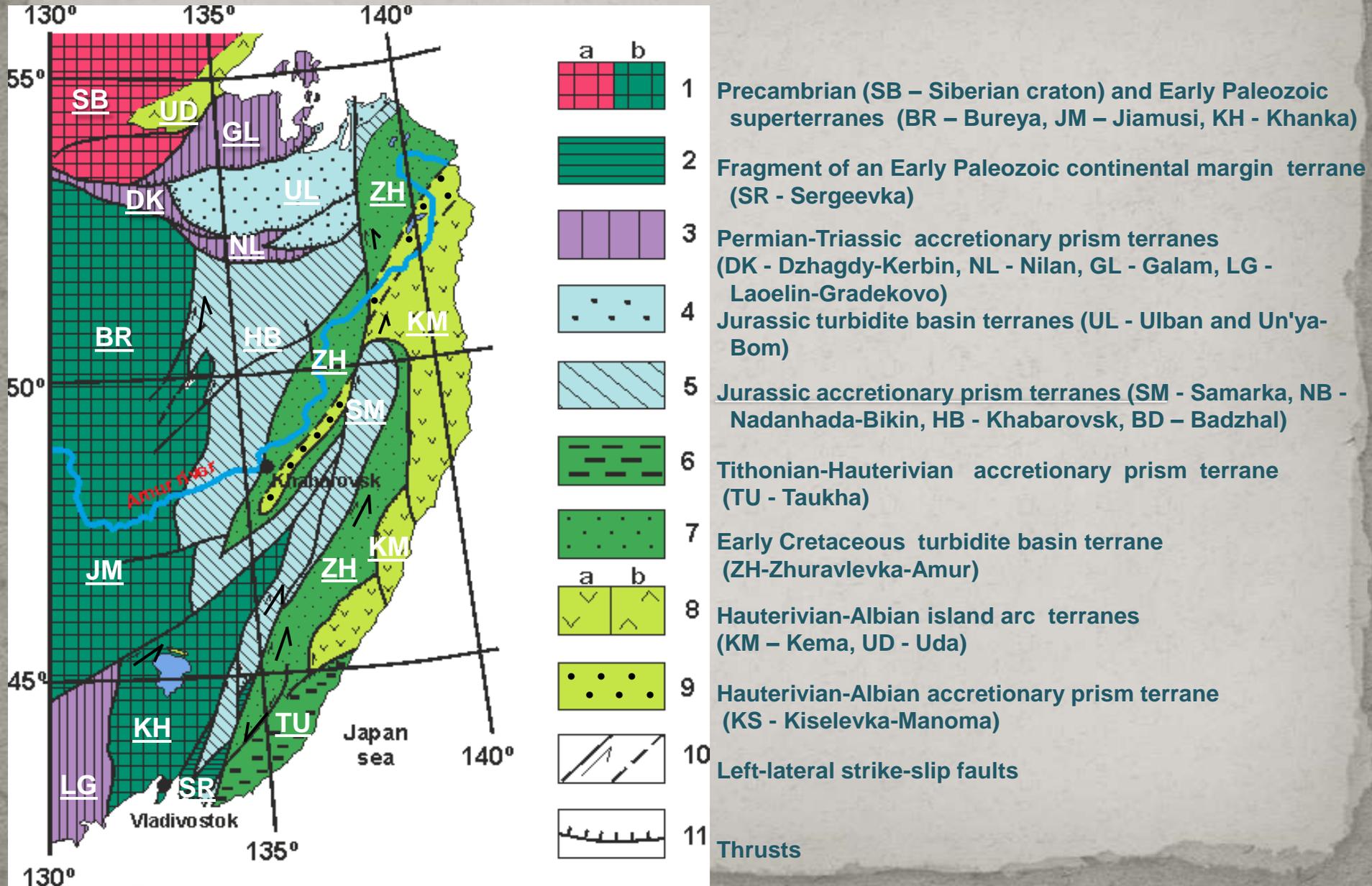
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ



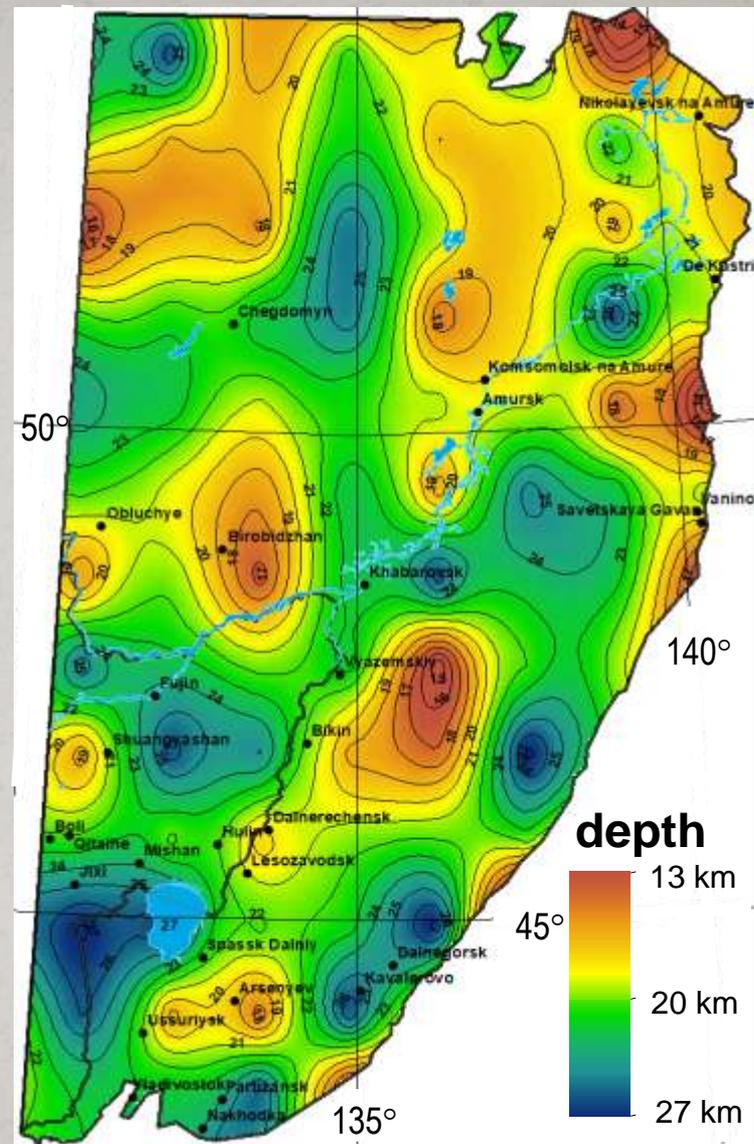
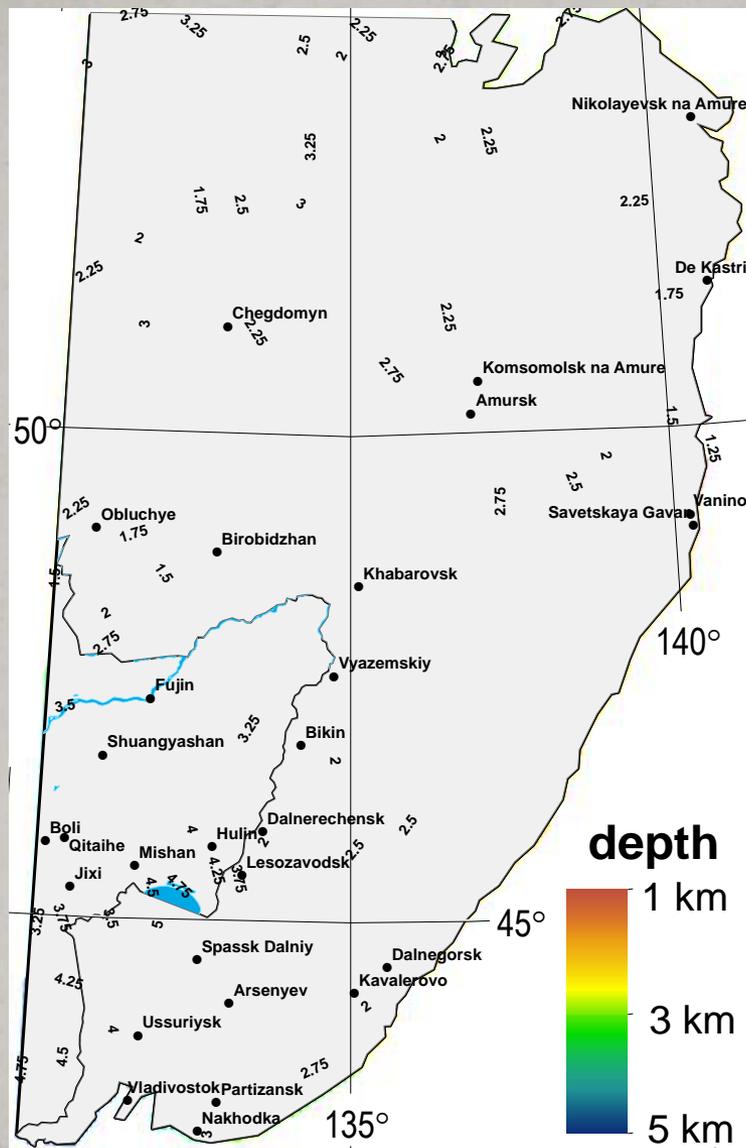
Практически вся территория юга Дальнего Востока России покрыта Государственными геологическими картами масштаба 1:1000000 третьего поколения.

Отличительной особенностью которых от карт предыдущих поколений является использование: ГИС-технологий, современных методов абсолютной геохронологии, данных глубинных геолого-геофизических исследований и космического дистанционного зондирования (Петров и др., 2016).

СХЕМА ТЕРРЕЙНОВ СИХОТЭ-АЛИНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ (Геодинамика..., 2006;
Khanchuk, Kemkin, 2015)

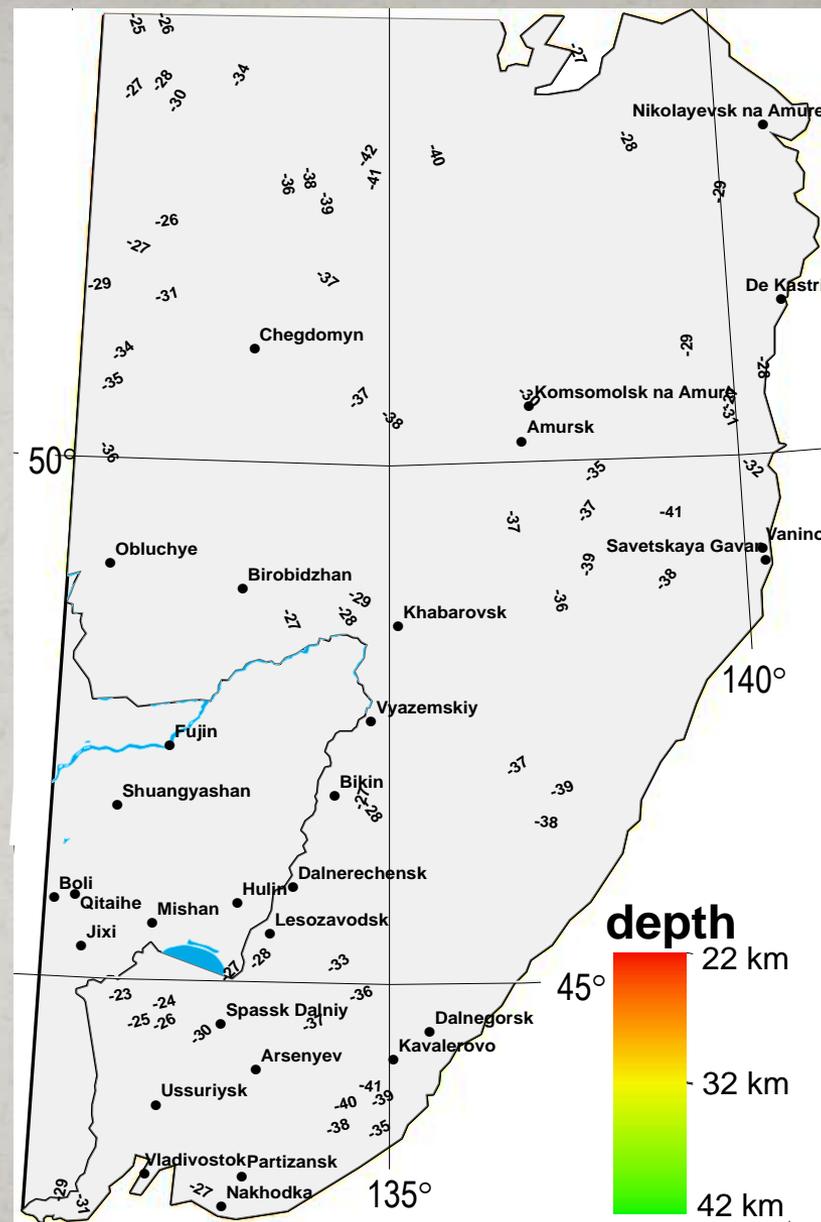
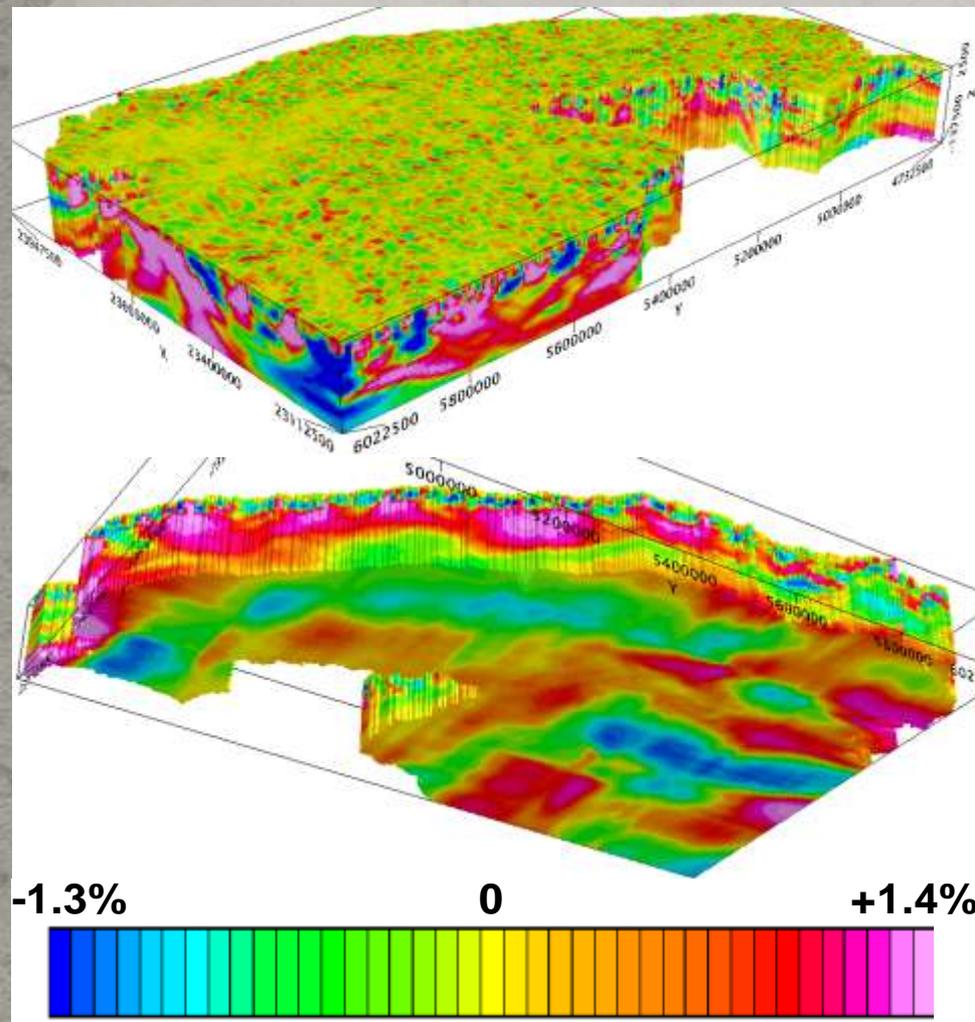


ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ



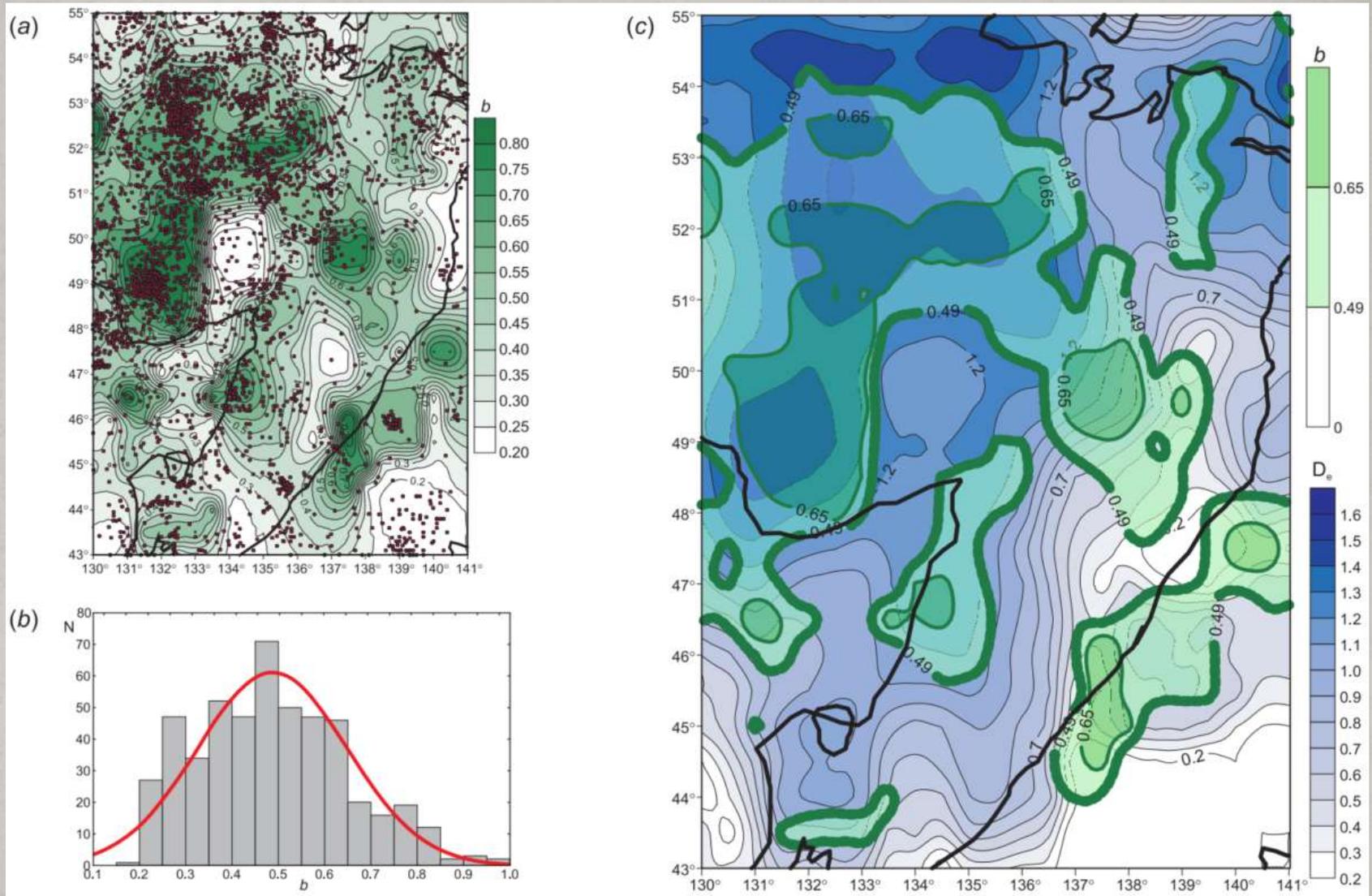
На основе анализа аномального магнитного поля были определены структура магнитоактивного слоя и мантийная составляющая теплового потока (Диденко и др., 2017); слева показана глубина его кровли, справа – подошвы.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ (продолжение)



На основе анализа поля силы тяжести в редукции Буге были рассчитаны: 1) плотностная модель территории (слева) до глубины 120 км (Диденко, Носырев, 2020); 2) глубина Мохо с использованием сейсмических данных (Didenko et al., 2021).

СЕЙСМИЧНОСТЬ В РЕГИОНЕ И ЕЕ СВЯЗЬ С СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКОЙ (Zakharov et al, 2019; Диденко и др., 2017)



Наклон графика повторяемости, рассчитанный в скользящем окне. (a) – поле b для верхнекоровых землетрясений; (b) – статистика значений b ; (c) – сопоставление пространственного распределения b с распределением фрактальной размерности эпицентров D_e . Жирная зеленая линия – среднее значение $b=0.49$.

Территория юга Дальнего Востока России достаточно хорошо обеспечена современным геолого-геофизическим картографическим материалом [Петров и др., 2016, Геодинамика..., 2006; Khanchuk et al., 2016, Диденко, Носырев, 2020; Диденко и др., 2017, 2018; Didenko et al., 2021].

Диссонансом в этом отношении является изучение неотектонических движений в регионе; последняя, и вероятно единственная достаточно детальная, неотектоническая карта-схема юга Дальнего Востока России была опубликована более 23 лет назад [Горкуша и др., 1999]. Хотя в Объяснительных записках к Государственным картам 3-го поколения есть разделы по неотектонике соответствующих территорий, но все они базируются на материалах работы [Горкуша и др., 1999].

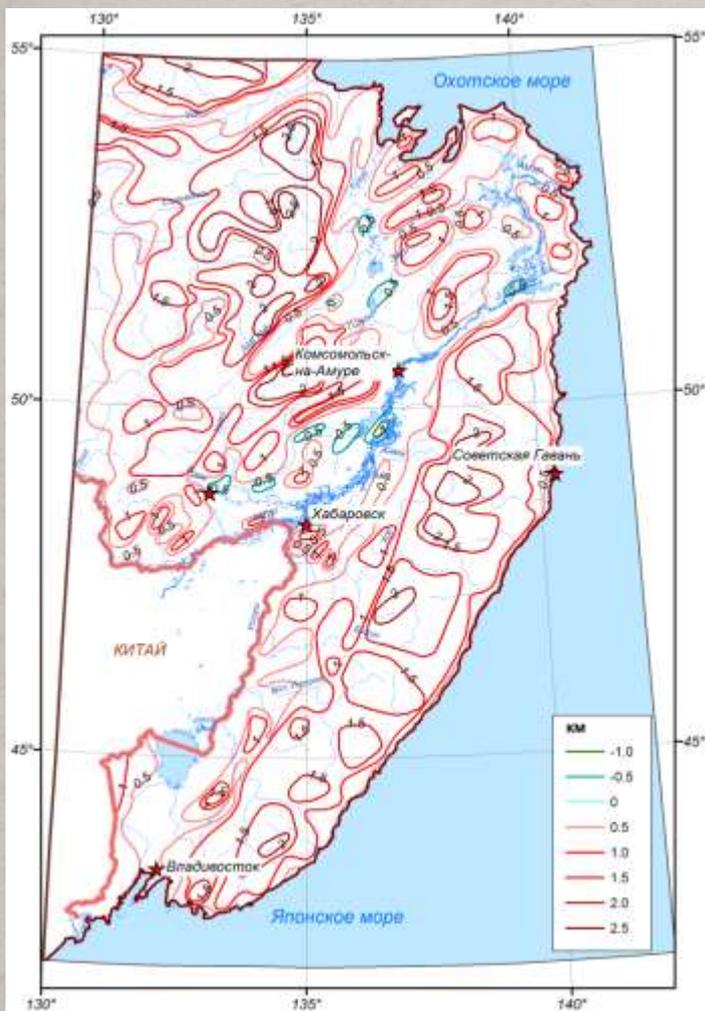
Необходимо отметить также и Карту новейшей тектоники Северной Евразии [Грачев и др., 1997], на которой в единой легенде показана новейшая структура материковой части и прилегающих акваторий.

Несколько лет тому назад нами была поставлена задача построения новой неотектонической карты для юга Дальнего Востока России, первые шаги решения которой представлены [Захаров и др., 2020; Симонов и др., 2020, 2021].

В настоящей работе представлены итоговая карта новейших вертикальных движений юга Дальнего Востока России и методика ее построения.

Неотектоническая схема

(Горкуша и др., Тихоокеанская геология, 1999, Т. 18, № 5, С. 61-68)



изолинии через 500 м

С.В. Горкушей с соавторами в рамках работ по выявлению тектонических условий возникновения землетрясений в пределах Приамурья и Приморья проведен анализ сейсмичности в связи с неотектоническими движениями, блоковой делимостью земной коры, разломами и аномалиями гравитационного поля Δg Буге. Применены как качественные, так и количественные методы построения. Были проанализированы следующие данные:

1) эпицентры землетрясений с магнитудами в интервале 1.8-3.3 и более 3.3;

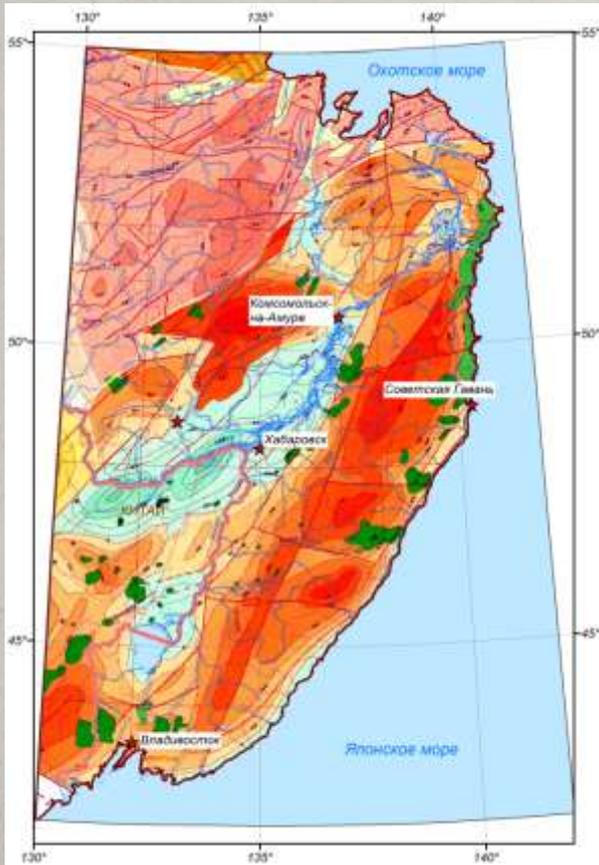
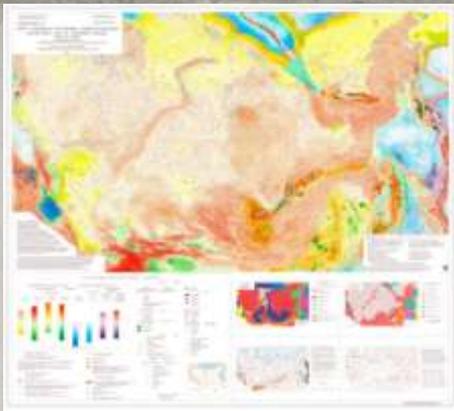
2) осредненное поле Δg Буге с шагом в 50 км;

3) вертикальные неотектонические движения для юга Дальнего Востока России (повторное нивелирование, морфометрический анализ, мощность формаций);

4) плотность разломов с глубиной заложения до 5 км и длиной более 30 км, а также разломов, выявленных при анализе аэро- и космических снимков.

Размах вертикальных движений составил ~ 3.5 км – от -1 (район озера Болонь, Малмыж) до $+2.5$ км (хребты Буреинский, Селемджинский, Эзоп).

**КАРТА НОВЕЙШЕЙ ТЕКТОНИКИ
СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В МАСШТАБЕ 1:5000000.
Главный редактор А. Ф. Грачев. 1996.**



Для юга Дальнего Востока России А.Ф. Грачевым определены два ведущих геодинамических процесса.

1. Образование Японского моря (внутриплитный краевой бассейн) в 3 стадии от ~30 до 5 млн. лет назад.
2. Развитие Восточно-Азиатской рифтовой системы щелочно-базальтового вулканизма, который проявлен в Сихотэ-Алине, в мезо-кайнозойских осадочных бассейнах (Партизанский, Суйфунский, Средне- и Нижне-Амурский). Древнейшие вулканиты имеют возраст 11 Ма и залегают на коре выветривания, молодые – ниже- и среднечетвертичные базальты на восточном склоне Сихотэ-Алиня.

Геодинамическая обстановка определена как область рифтогенеза во внутриплитной континентальной обстановке. Размах вертикальных движений составляет **~2.2 км –** от -0.7 (Среднеамурский бассейн) до +1.5 км (Бурейнский хребет).

Это существенно, более чем на 1 км, отличается от построений С.В. Гаркуши с соавторами (1999).

Фрагмент карты (изолинии через 0.2 км)

ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать, используя цифровую модель рельефа (SRTM03) и построенную на ее основе модель речной сети, новую неотектоническую карту юга Дальнего Востока России путем расчета ряда структурно-морфометрических монобазисных поверхностей.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ НОВЕЙШИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

Амплитуда и направленность новейших тектонических движений, скорость эрозии меняются как во времени, так и в пространстве, что оказывает значительное влияние и на рельеф, и на формирование гидросети.

Структурно-морфометрический метод В.П. Философова (1975), позволяет не только выявлять развивающиеся на новейшем тектоническом этапе структуры, но и рассматривать их развитие во времени.

В основе метода лежит количественный анализ рисунка речной сети с помощью решения ряда последовательных задач:

1) определение порядка водотоков по (Strahler, 1952) – более высокие из них развиваются, в целом, более длительное время, и отражают сумму движений от их заложения до ныне, тогда как развитие водотоков низших порядков отражает неотектонические движения за меньший и более поздний промежуток времени;

2) построение карт монобазисных поверхностей (isobase level map), каждая из которых представляет собой интерполированный "рельеф" высот тальвегов водотоков одного порядка;

3) комплексный анализ монобазисных поверхностей, позволяющий проследить стадии развития рельефа и выделить новейшие тектонические структуры.

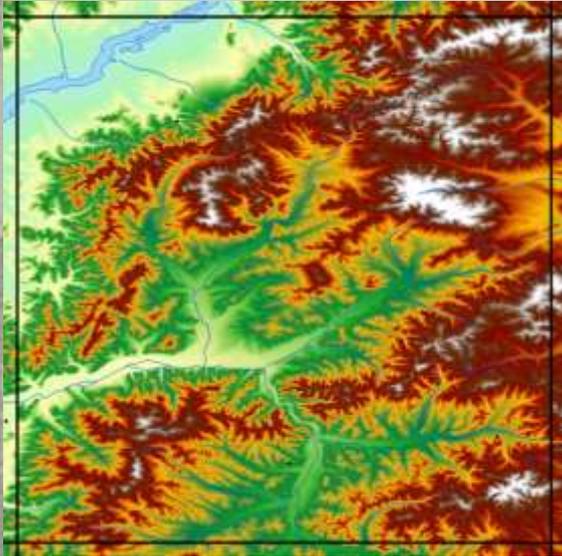
Немаловажным преимуществом метода является применение объективного расчета монобазисных поверхностей на основе формализованных алгоритмов, реализованных в ряде компьютерных программ.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ НОВЕЙШИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

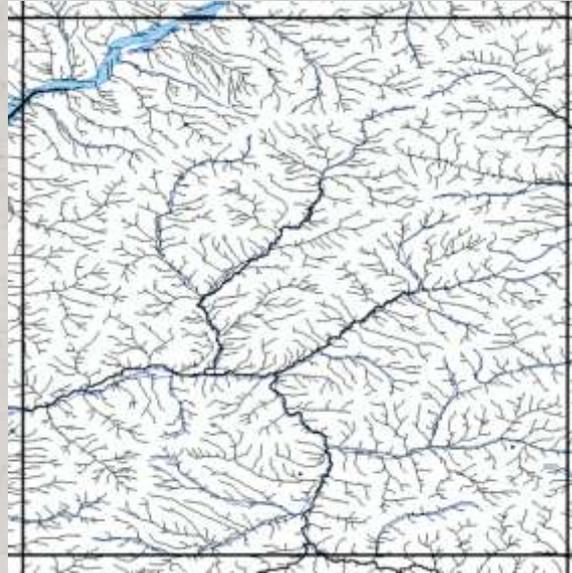
- В нашем исследовании структурно-морфометрический анализ проводился по методике, подробно описанной в (Симонов, Брянцева, 2018; Симонов и др., 2020, 2021; Захаров и др, 2020).
- Построения модели речной сети и монобазисных поверхностей проводились по методике, позволяющей применять метод Философова для цифровых моделей рельефа с использованием ГИС (Нугманов и др., 2016) , адаптированной для неотектонических исследований в горных областях, абсолютные отметки рельефа в которых не превышают снеговую линию (Симонов и др., 2019, 2021) с применением дополнительных стандартных инструментов ГИС. Эрозия областей , расположенных выше снеговой линии или в областях высокогорной пустыни значительно отличается от эрозии, происходящей ниже снеговой линии. Методику надо применять осторожно в областях распространения покровных оледенений, поскольку они значительно изменяют доледниковый рельеф.
- Использован алгоритм выявления направления стока согласно модели восьминаправленного стока, когда из восьми возможных направлений из ячейки выбирается направление с наибольшим значением градиента.

ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРЯДКА ВОДОТОКА (ТОЧКИ БИФУРКАЦИИ) И ПОСТРОЕНИЯ МОНОБАЗИСНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

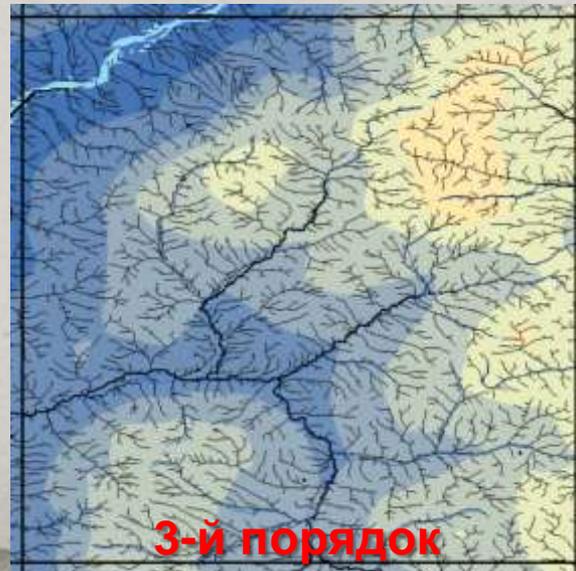
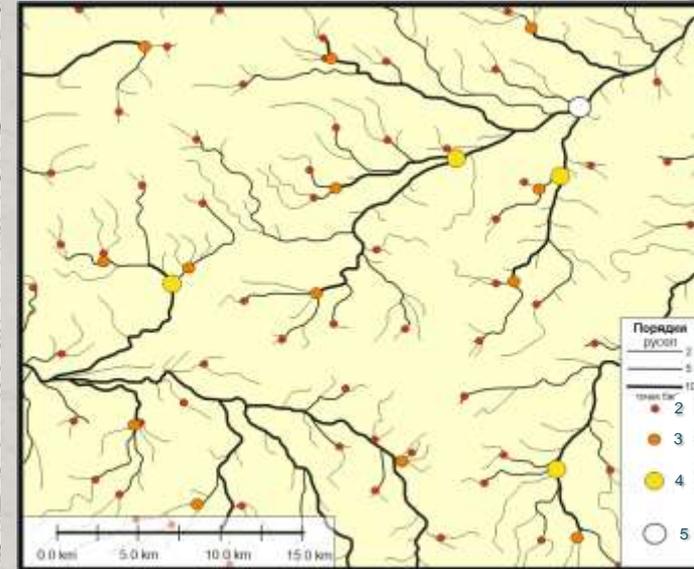
цифровая модель рельефа,
верховья рр. Гур и Тумнин



модель гидросети,
верховья рр. Гур и Тумнин

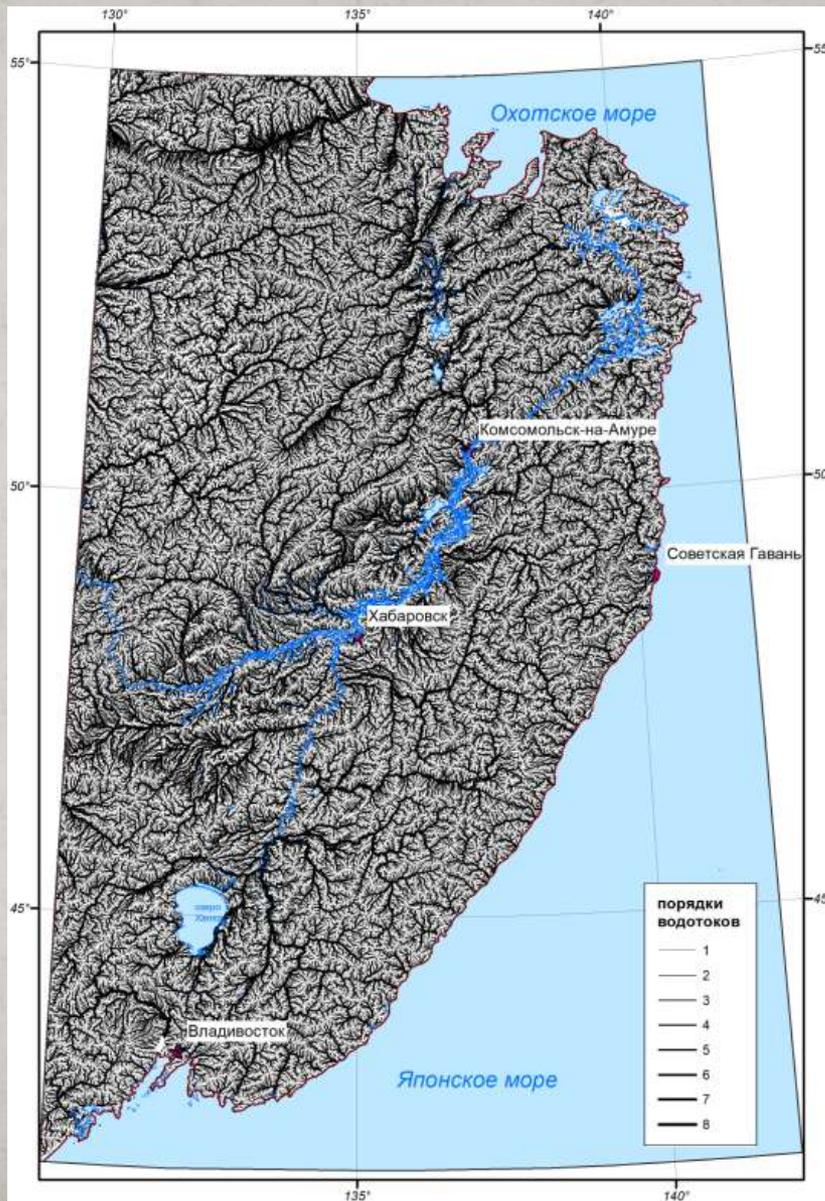
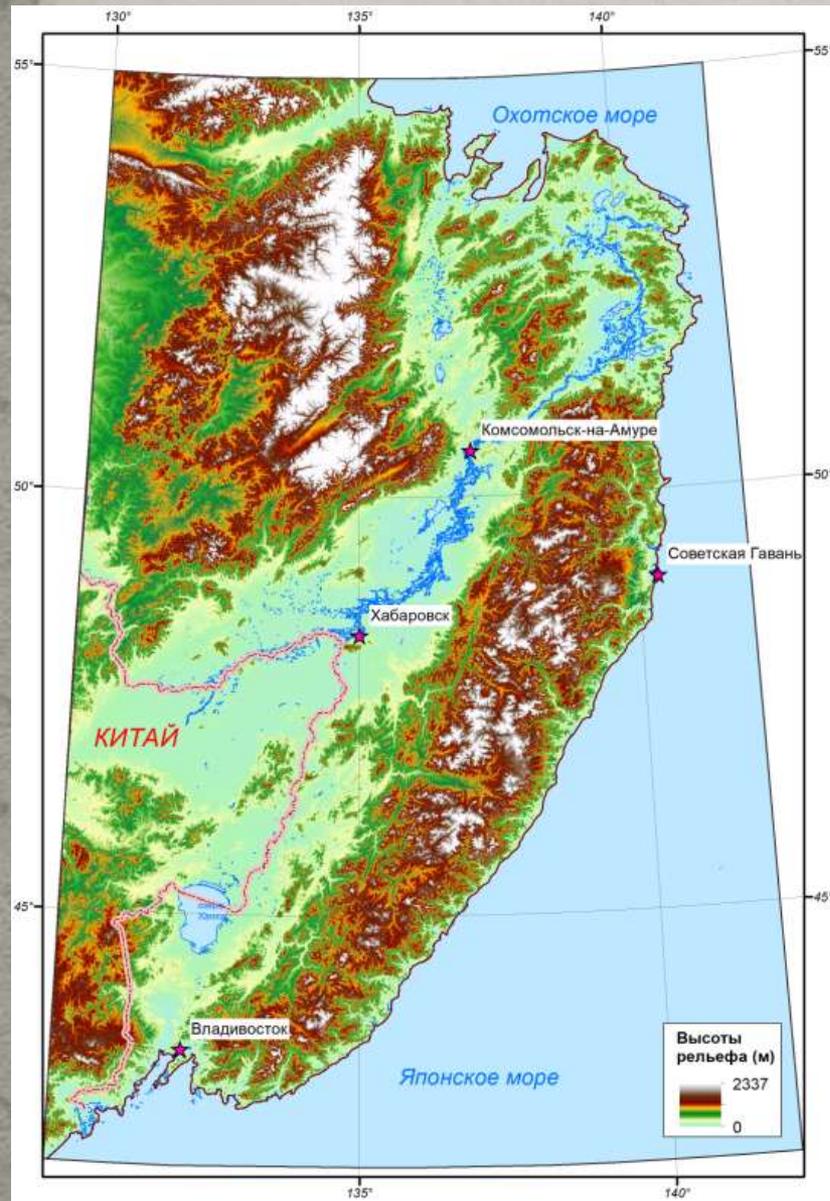


определение порядка водотока



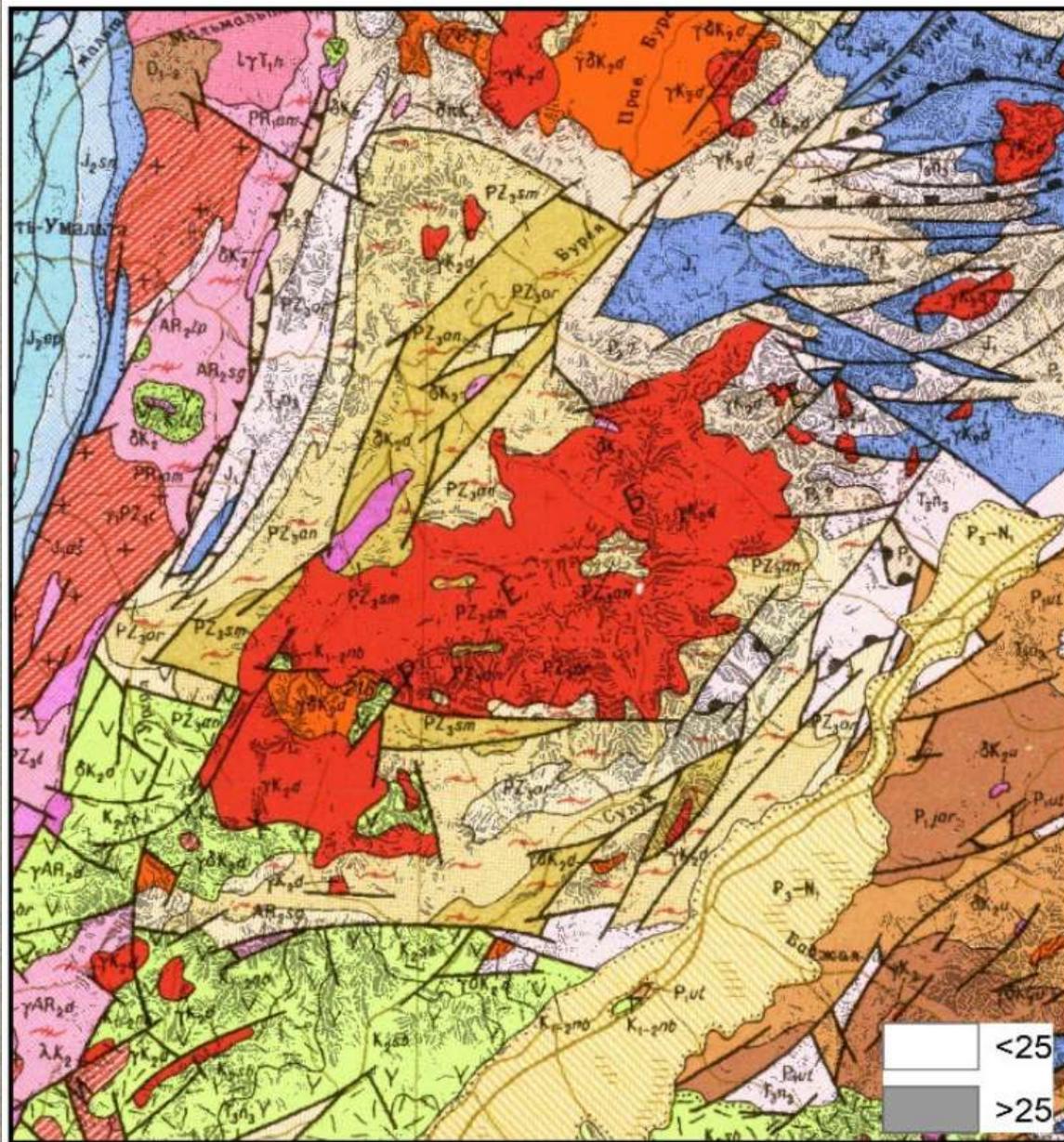
ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА с разрешением 1 пиксель - 90 м (SRTM03)

МОДЕЛЬ ГИДРОСЕТИ (всего русел различных порядков 391017)



- 1 – 198021
- 2 – 91775
- 3 – 50397
- 4 – 25688
- 5 – 14975
- 6 – 6744
- 7 – 3106
- 8 – 311

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД НА ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА

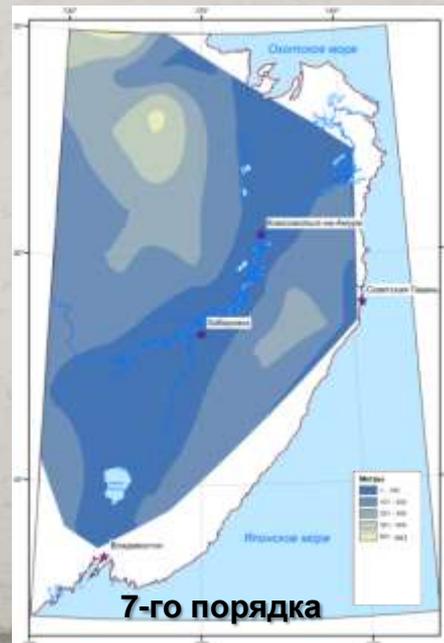
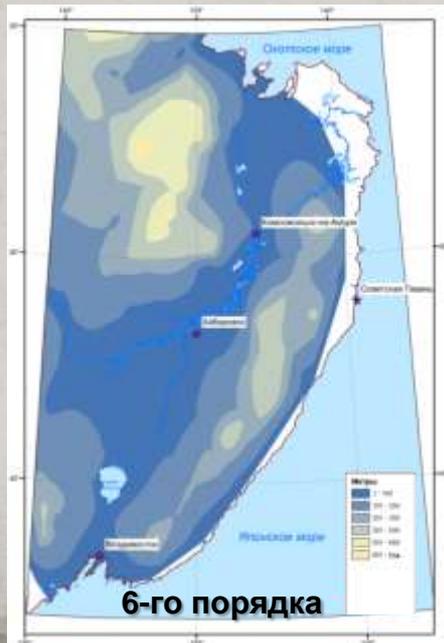
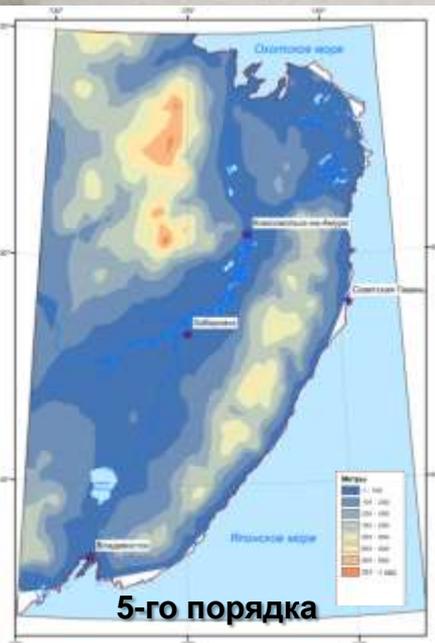
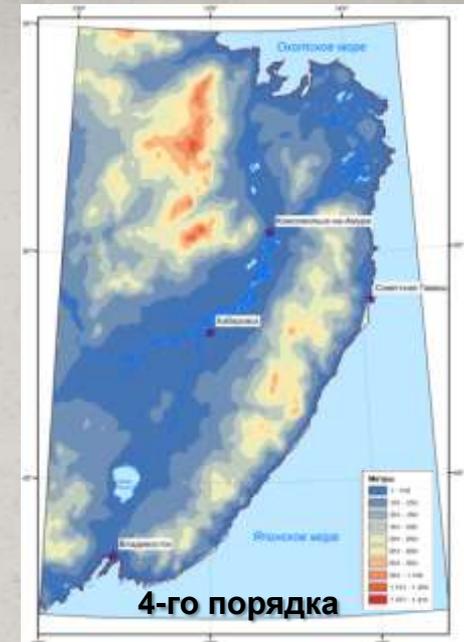
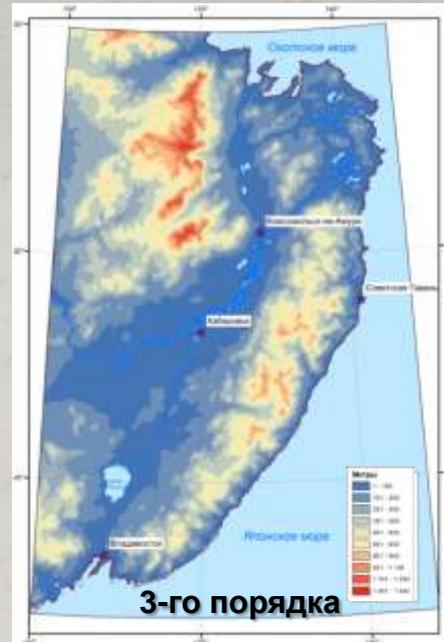
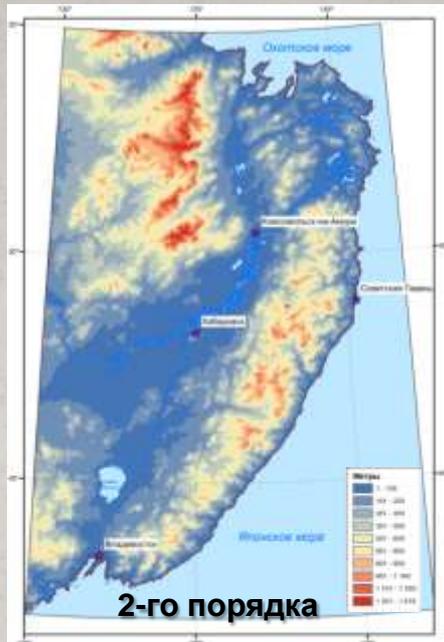
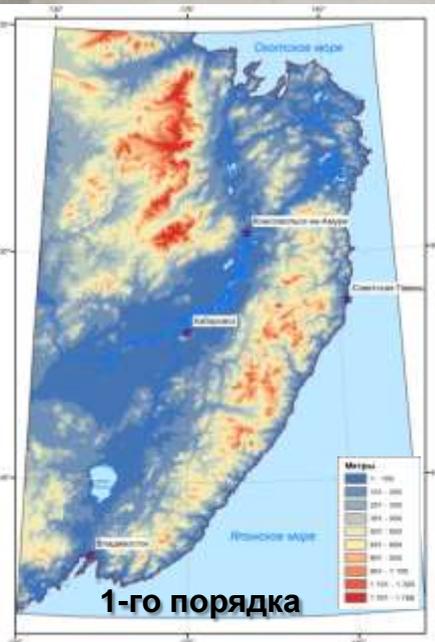


На двух участках территории - Юж. Сихотэ-Алинь на юге и хр. Дусе-Алинь на севере (показан на слайде), в пределах которых есть выходы пород с различной компетентностью и стойкостью к выветриванию (докембрийские и меловые граниты, терригенные породы различной литологии и возраста) был проведен анализ остаточного рельефа и крутизны склонов.

Установлено, что литология пород в масштабе проводимых исследований не оказывает определяющего влияния на формы рельефа.

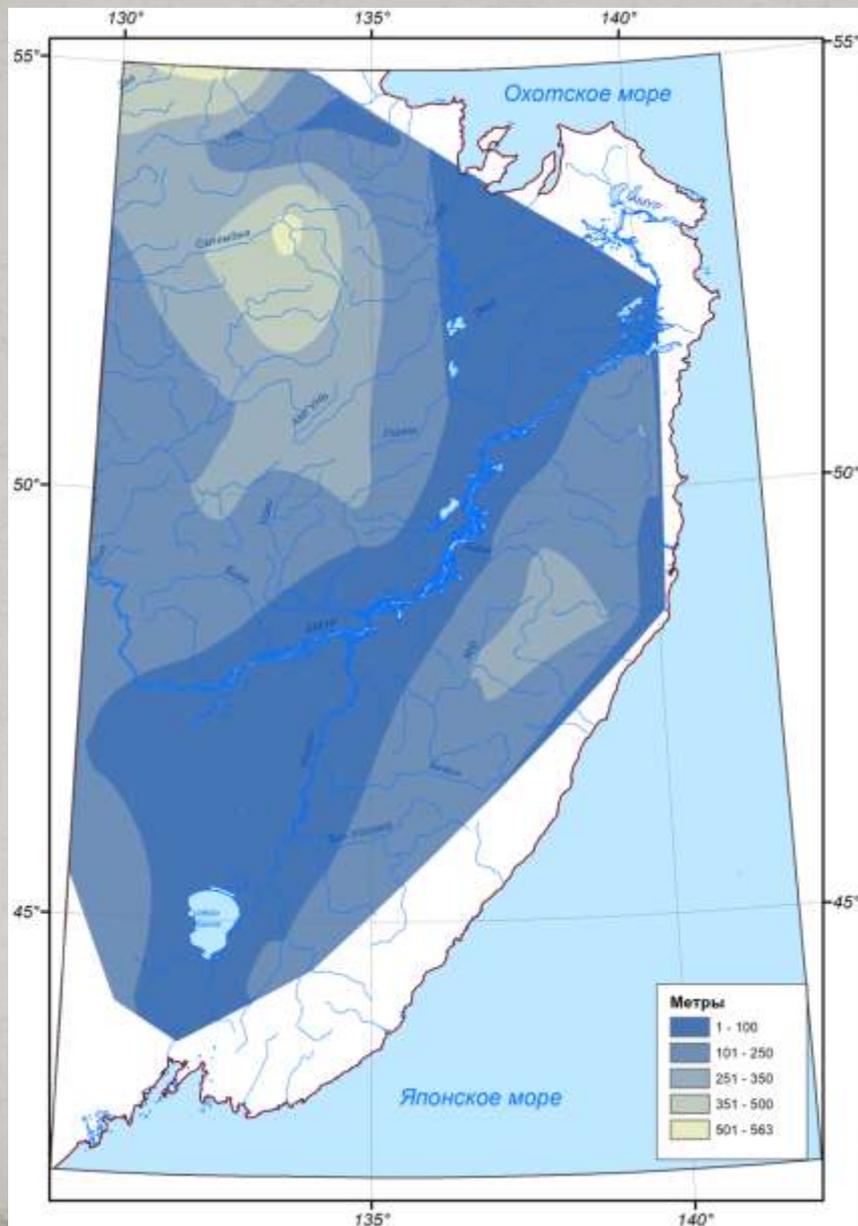
В дальнейших построениях мы исходили из того, что фактор эрозионной устойчивости пород в изучаемом регионе не является определяющим и им в значительной степени можно пренебречь.

МОНОБАЗИСНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ



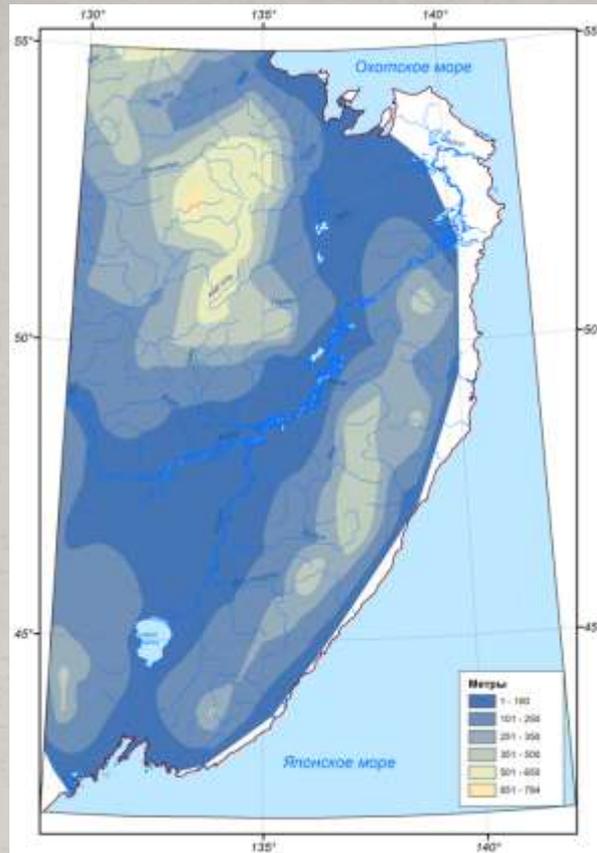
Монобазисные поверхности:
1-го порядка – размах 1788 м;
2-го порядка – размах 1615 м;
3-го порядка – размах 1420 м;
4-го порядка – размах 1311 м;
5-го порядка – размах 1082 м;
6-го порядка – размах 784 м;
7-го порядка – размах 563 м.

Монобазисная поверхность 7-го порядка

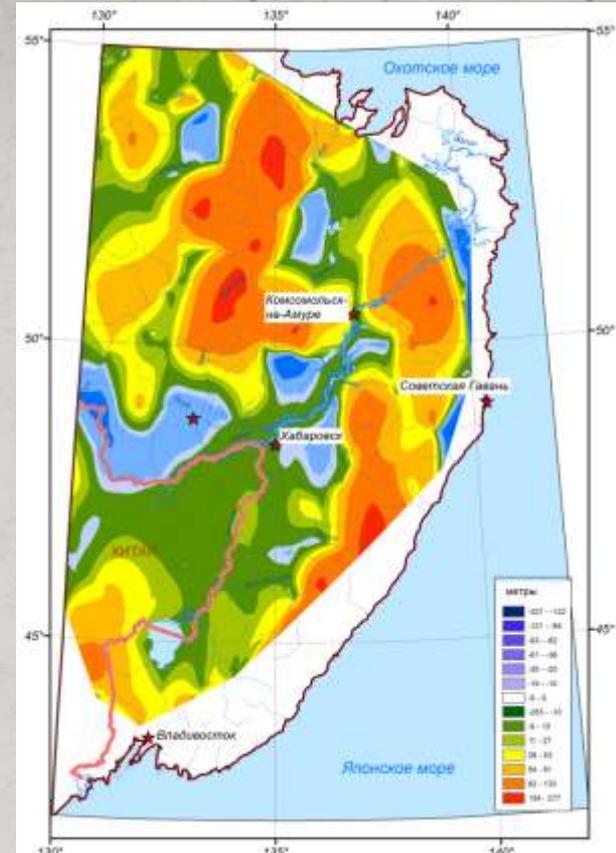


- Конфигурация наиболее древнего рельефа
- Надежных маркеров возраста этого рельефа нет, но можно предположить, что данная поверхность отражает рельеф, существовавший до того, когда в пределах **эоценовых** рифтовых впадин еще не сформировались крупные транзитные водотоки, например, р. Амгунь в пределах Верхнеамгунской межгорной впадины.
- Анализ монобазисной поверхности позволяет предположить, что в **эоцене** (доолигоценовое время) существовал достаточно высокий, асимметричный, с крутым восточным и пологим западным склонами Буреинский хребет на западе и более низкий Сихотэ-Алинь на востоке. Причем, восточнее Эврон-Чукчагирской системы погружений и севернее современного русла Амура в его нижнем течении высокого рельефа, вероятно, не было.

Монобазисная поверхность 6-го порядка

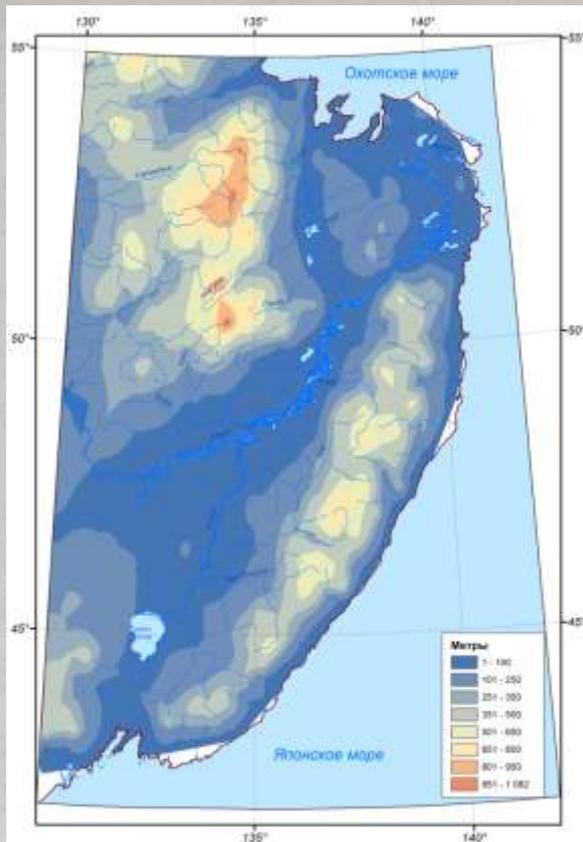


Разностная поверхность 7-го и 6-го порядков

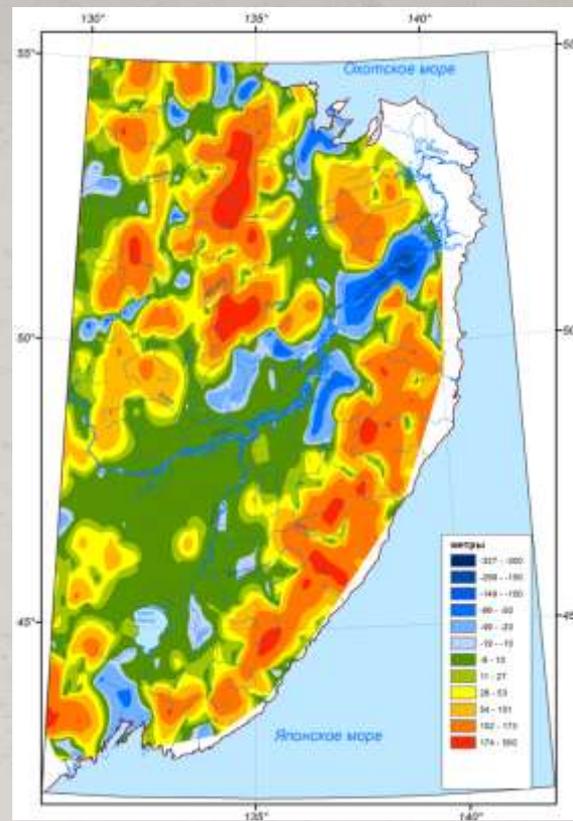


- **Постэоценовый рельеф**, отражающийся в монобазисной поверхности 6-го порядка сформировался после того, как в пределах кайнозойских рифтовых впадин уже сформировались крупные транзитные реки, такие как Амгунь. Буреинский хребт в это время наряду с эрозией мог испытывать воздымание. Наибольшее приращение рельефа до 400 м отмечается в южной части хребта, в то же время, по периферии хребта отмечается значительная эрозия.
- Северный Сихотэ-Алинь также мог испытывать воздымание, но менее значительное: максимальное приращение рельефа не превышало 280 м. При этом важно отметить, что в это время началось, хотя и не очень значительное, поднятие севернее современного Амура в его нижнем течении. Русло Амура в это время, вероятнее всего, проходило по Эврон-Чукчагирской системе погружений до залива Николая.

Монобазисная поверхность 5-го порядка

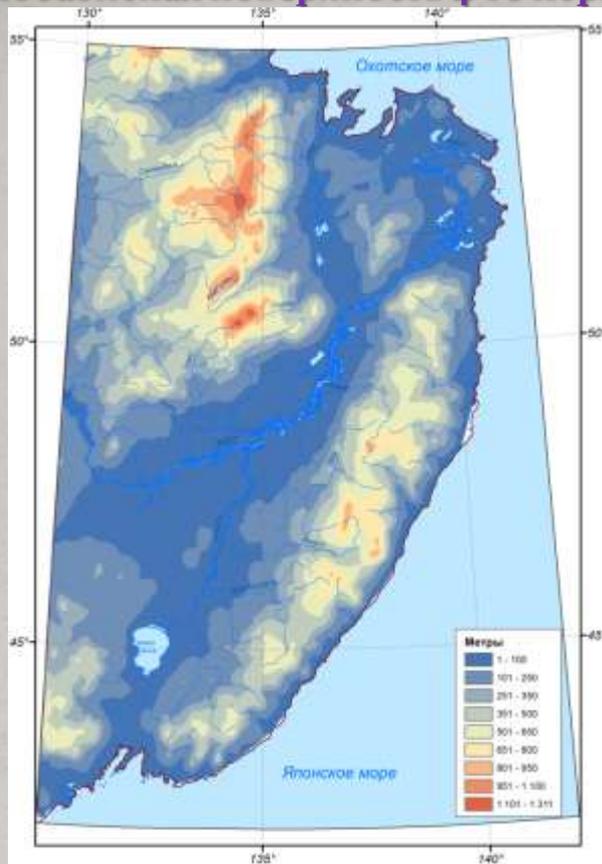


Разностная поверхность 6-го и 5-го порядков

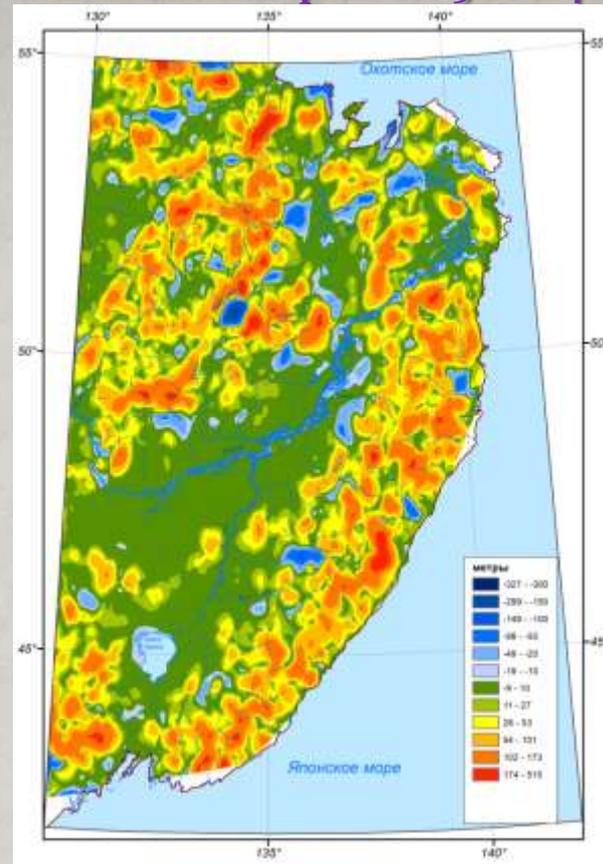


Рельеф, отражающийся в монобазисной поверхности 5-го порядка в пределах Центрального Сихотэ-Алиня можно датировать **олигоценом**, временем формирования песчаников и конгломератов угловинской свиты. Фрагменты отложений этого возраста сохранились в долинах крупных рек Сихотэ-Алиня [Симонов и др., 2021]. В это время начинается крупная перестройка в нижнем течении р. Амур. Буреинский хребт продолжал испытывать умеренный рост. Территория севернее Приамурского разлома начинает испытывать более интенсивное воздымание. В это же время начинает формироваться современная antecedentная долина Амура, заложившаяся вдоль данного разрывного нарушения [Симонов и др., 2021]. Происходило также относительно равномерное воздымание всего Сихотэ-Алиня, несколько более интенсивное в областях севернее рек Б. Уссурка и Бикин [Симонов и др., 2020]. Вдоль Центрального Сихотэ-Алиньского разлома в это время значительных вертикальных смещений не выявляется.

Монобазисная поверхность 4-го порядка

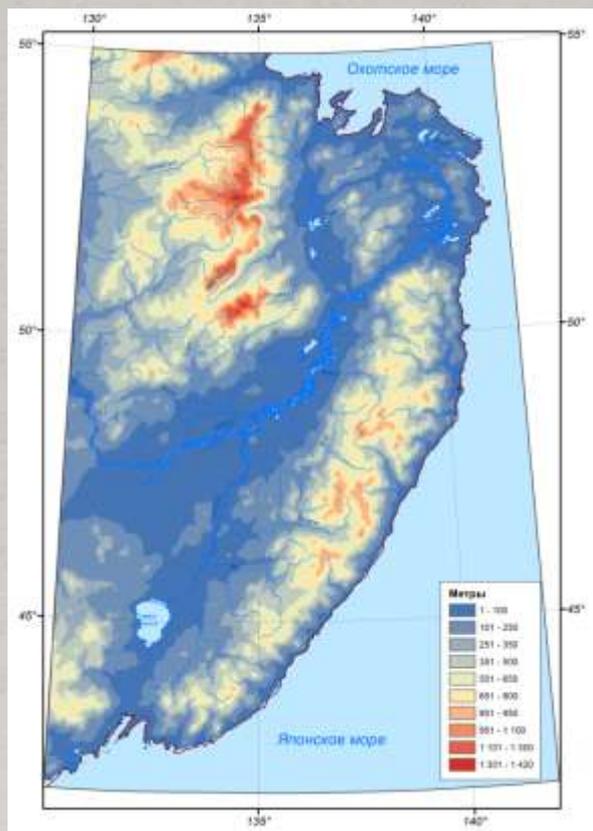


Разностная поверхность 5-го и 4-го порядков

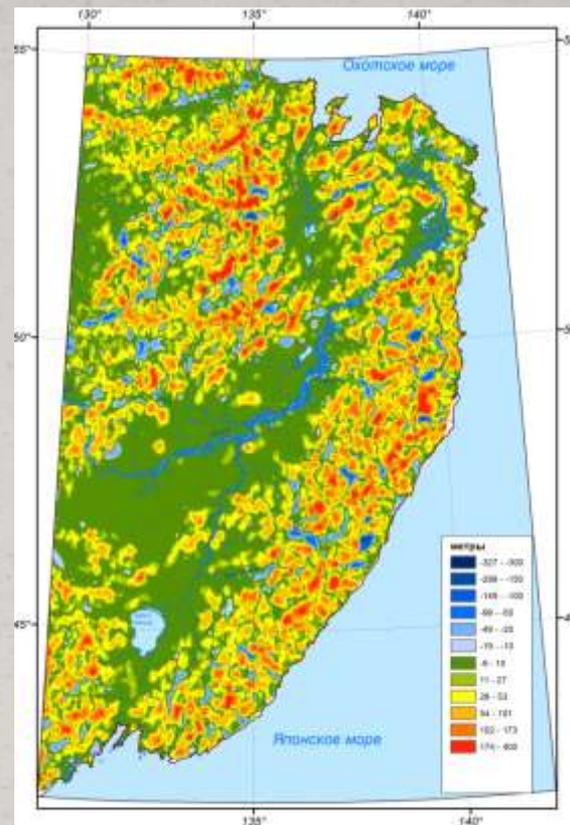


- Ко времени начала формирования современного рельефа произошла активизация крупных разломов, в том числе главного структурного шва горной системы Сихотэ-Алинь – Центрального Сихотэ-Алиньского разлома. Области восточнее разлома, испытывали достаточно интенсивное воздымание, а положительного приращения рельефа с запада фрагментарны, нулевые приращения. Вертикальные движения в этот период здесь полностью компенсировались эрозией и осадконакоплением. Активизировались разломы, секущие хребет Сихотэ-Алинь в широтном направлении.
- Хребет Сихотэ-Алинь в это время испытывает воздымание, а 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].**

Монобазисная поверхность 3-го порядка

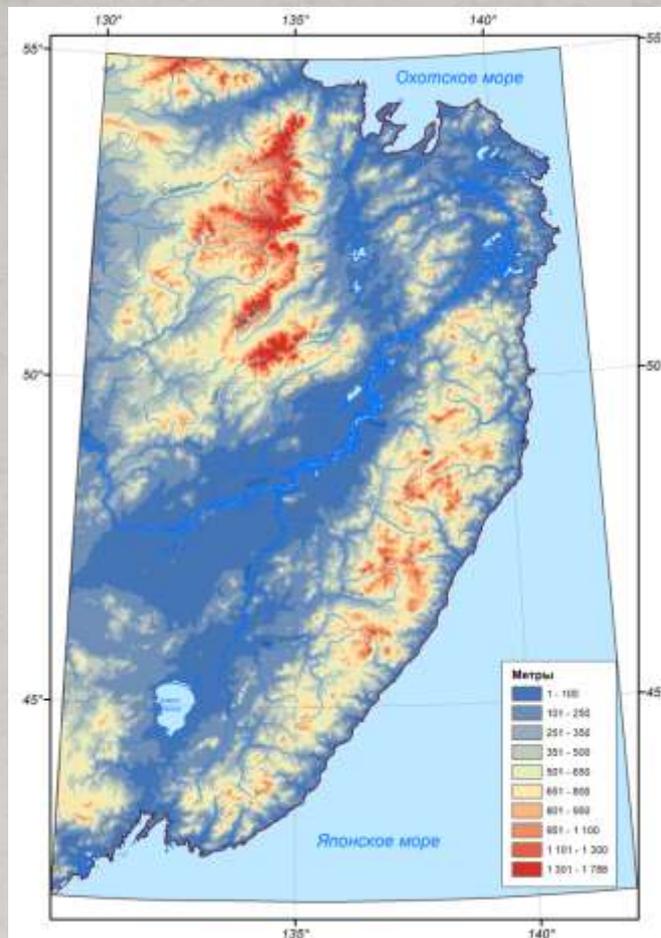


Разностная поверхность 4-го и 3-го порядков

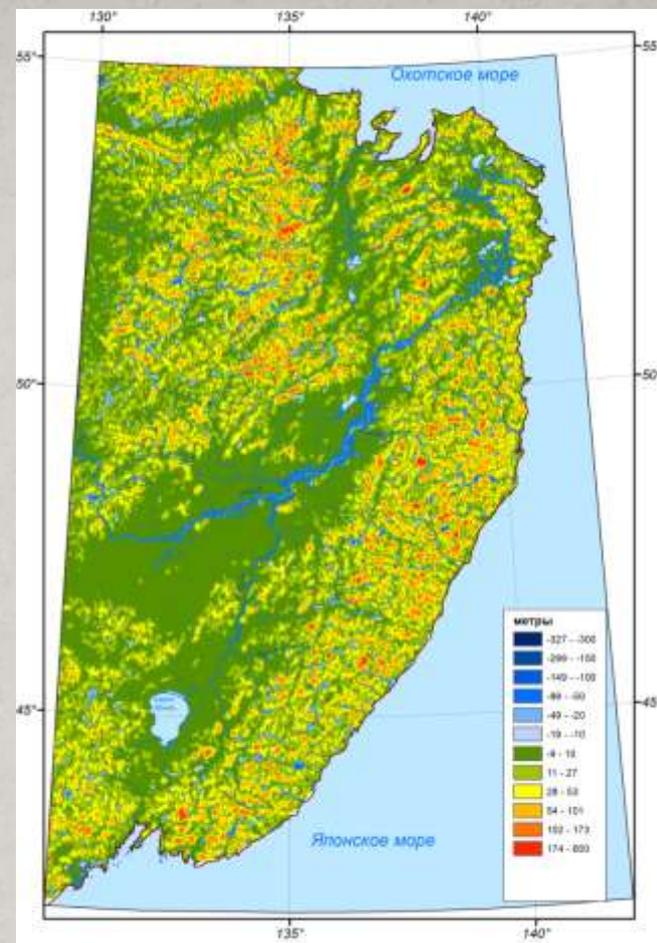


- Анализ базисных и разностных поверхностей 3-1 порядков дает информацию о развитии региона в течение **плейстоцена-голоцена**. В начале плейстоцена произошла, в основном, стабилизация вертикальных тектонических движений. Приращение рельефа по всей площади изучаемой территории приблизительно одинаковое, интенсивность врезания (отрицательные значения разностной поверхности) достаточно высока. Положительное приращение рельефа в значительной степени можно объяснить именно процессами эрозии [11,12].

Монобазисная поверхность 2-го порядка

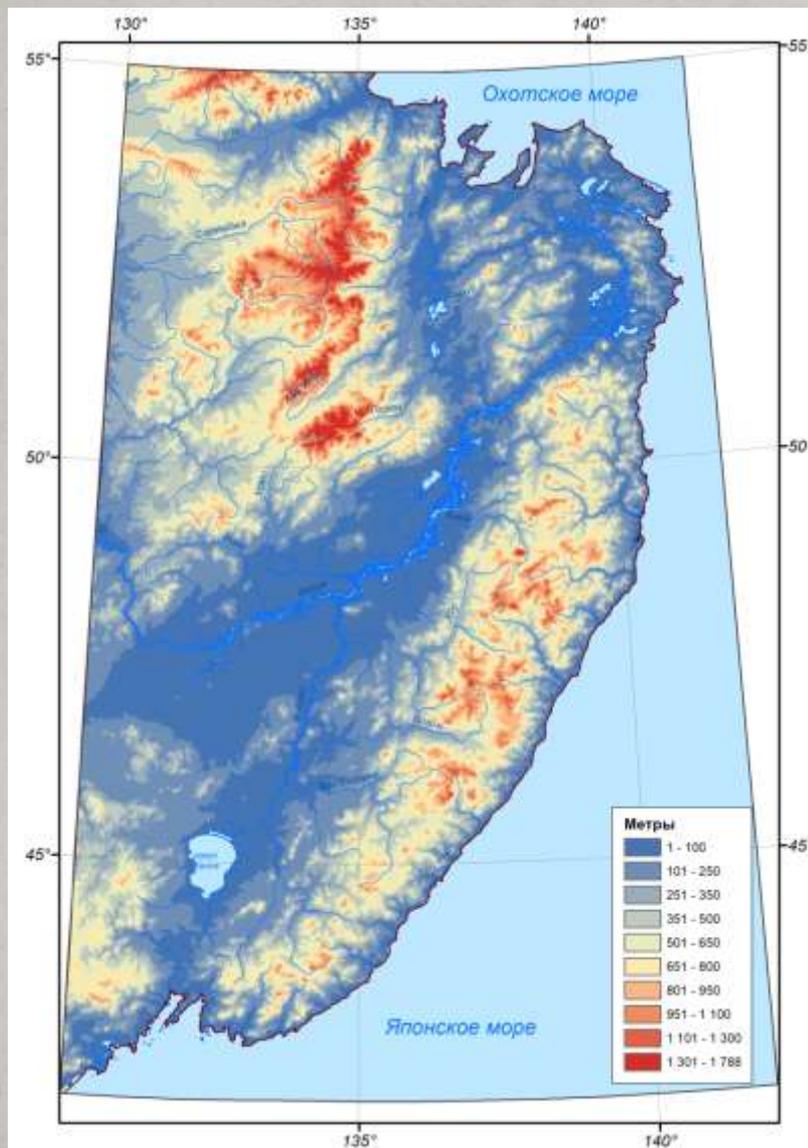


Разностная поверхность 3-го и 2-го порядков

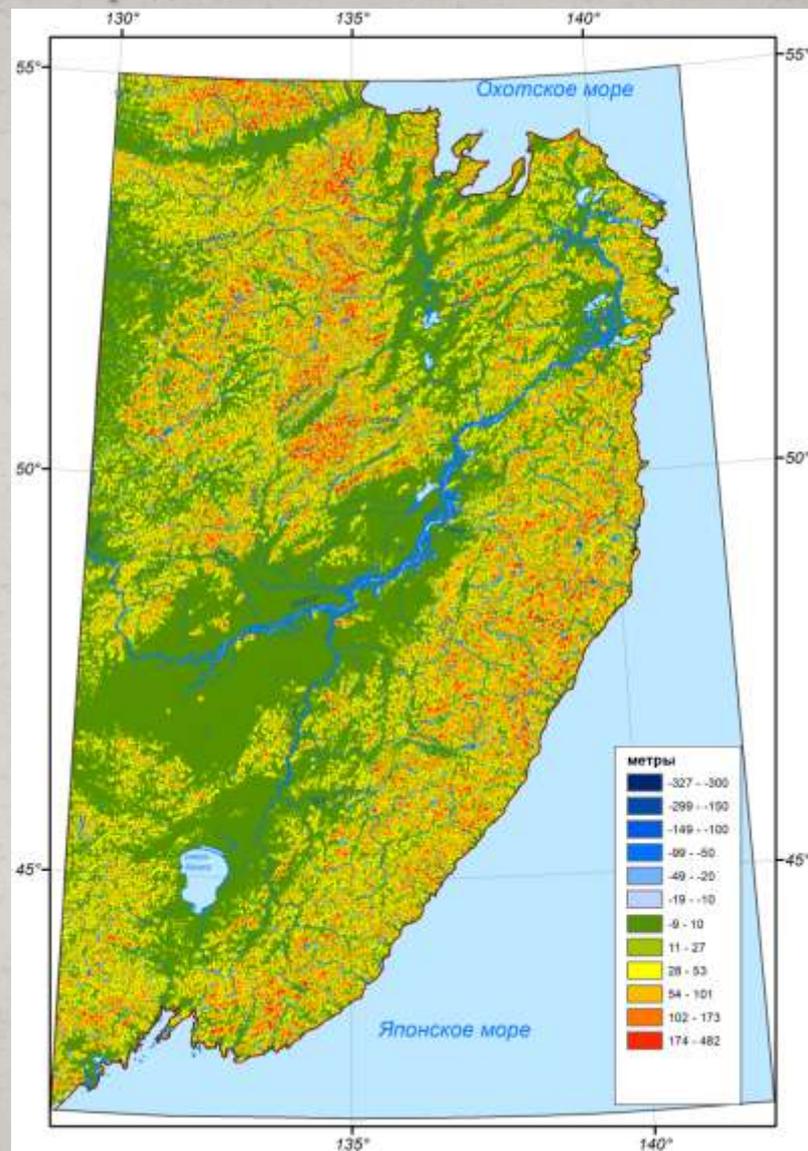


- Признаков вертикальных интенсивных движений по крупным разломам не отмечается. Области эрозии более древнего рельефа в долинах крупных рек перемещаются вверх по течению относительно тех областей эрозии, которые отмечались на предыдущем этапе, что указывает на попятную эрозию и выработку нового профиля равновесия этих рек.
- Такой же режим развития рельефа свойственен, в целом, для всего **плейстоцена-голоцена**.

Монобазисная поверхность 1-го порядка

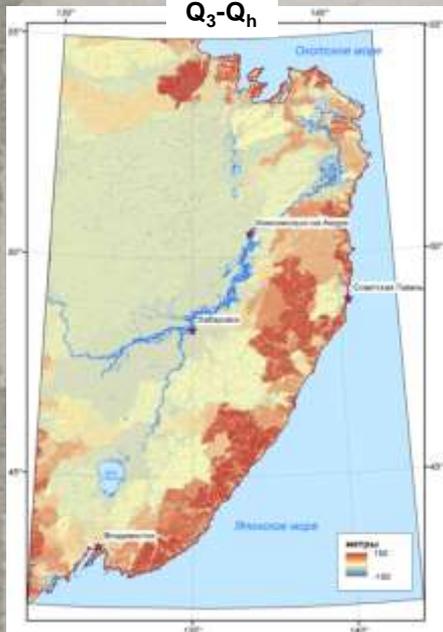


Разностная поверхность 2-го и 1-го порядков

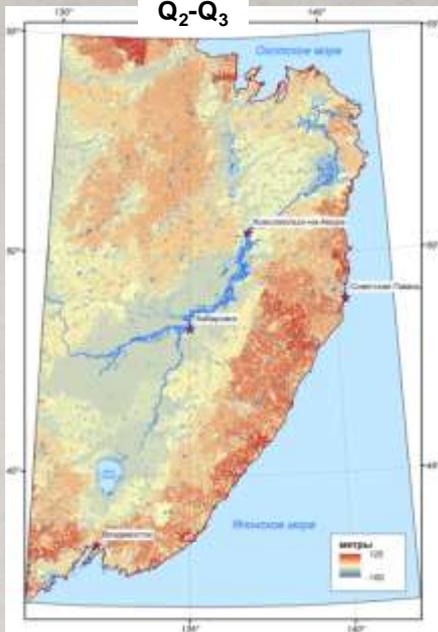


ЭТАПНОСТЬ НОВЕЙШИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

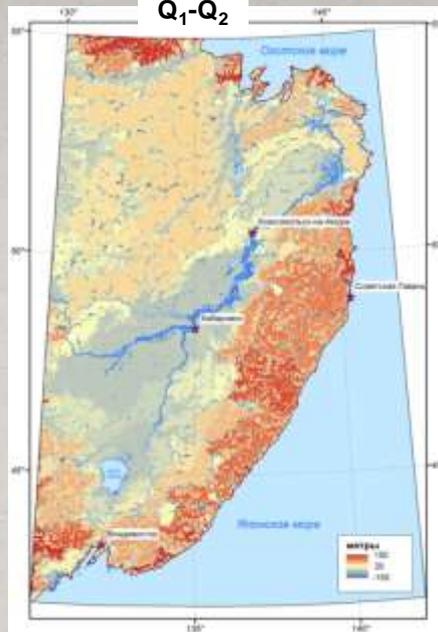
Q_3-Q_h



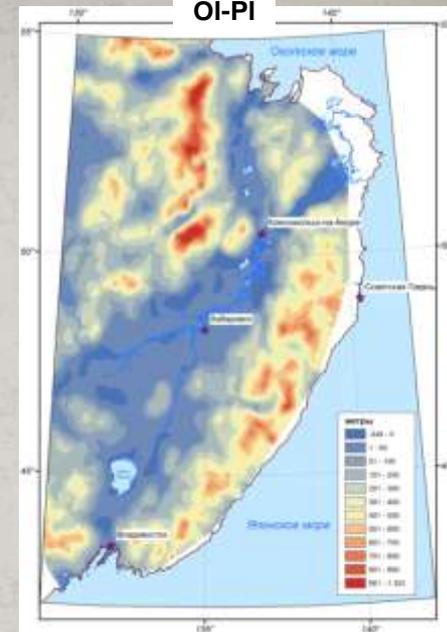
Q_2-Q_3



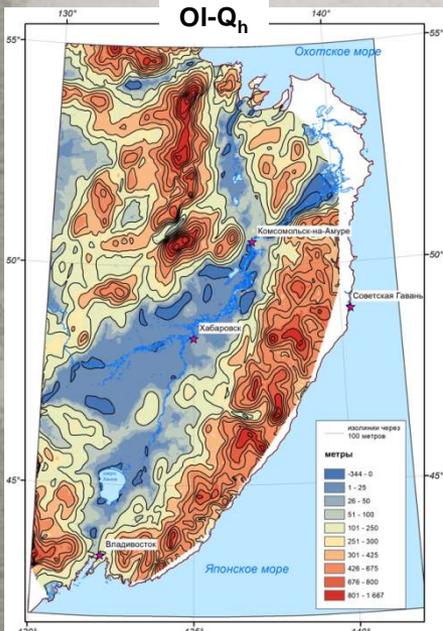
Q_1-Q_2



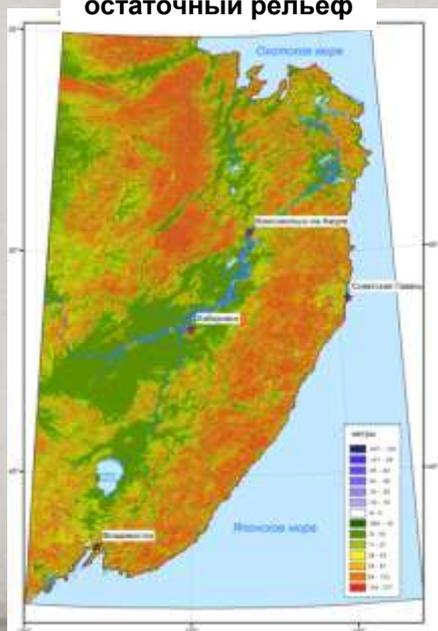
OI-PI



OI-Q_h

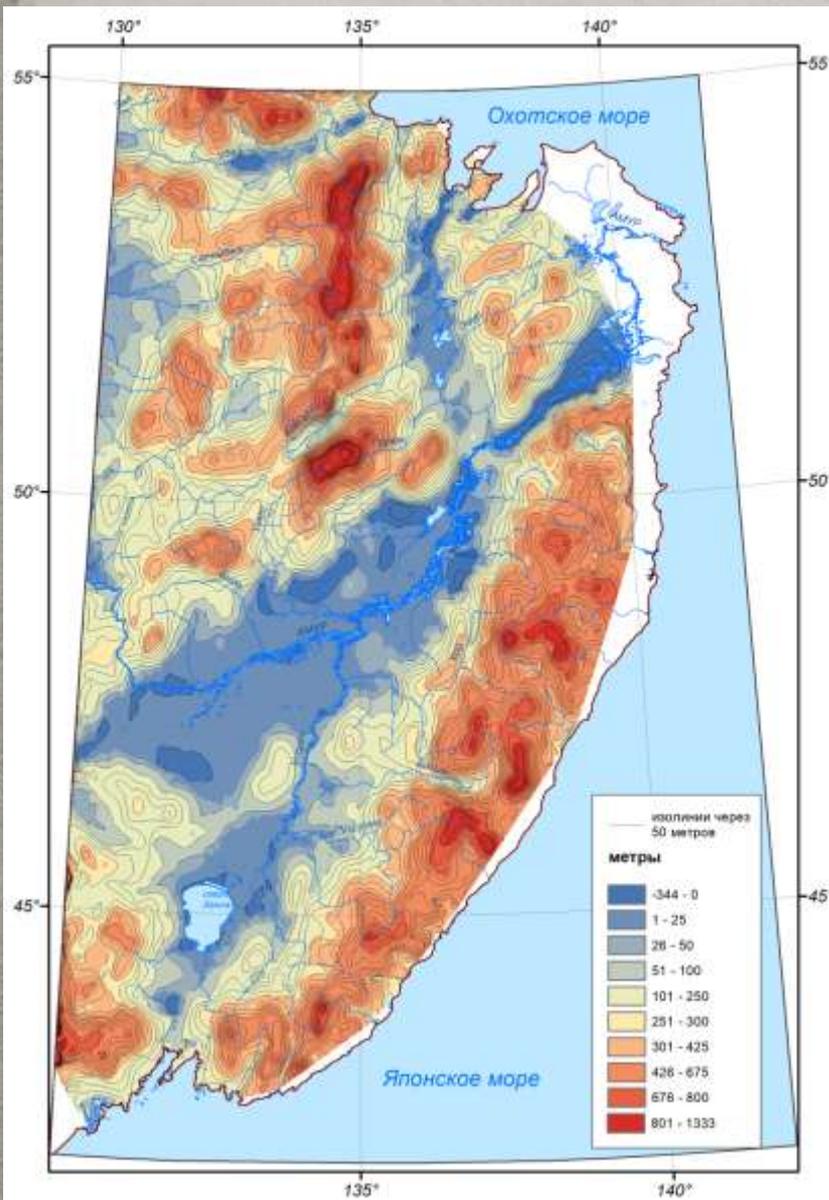


остаточный рельеф



Проведенный анализ монобазисных поверхностей и их разностей показал, что новейшие движения в пределах региона проявлялись на фоне более древнего, уже сформированного и не до конца эродированного рельефа. **Доолигоценному** этапу отвечают поверхности 7-6 порядка. **Олигоцен-плиоценовый** этап «записан» в поверхностях 5-го и 4-го порядка и характеризуется интенсивными вертикальными движениями. На **плейстоцен-голоценовом** этапе (поверхности 3-1 порядка), в ходе которого оформился современный выработанный эрозионно-денудационный рельеф, значительных вертикальных движений не происходило.

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



Карта вертикальных неотектонических движений 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).

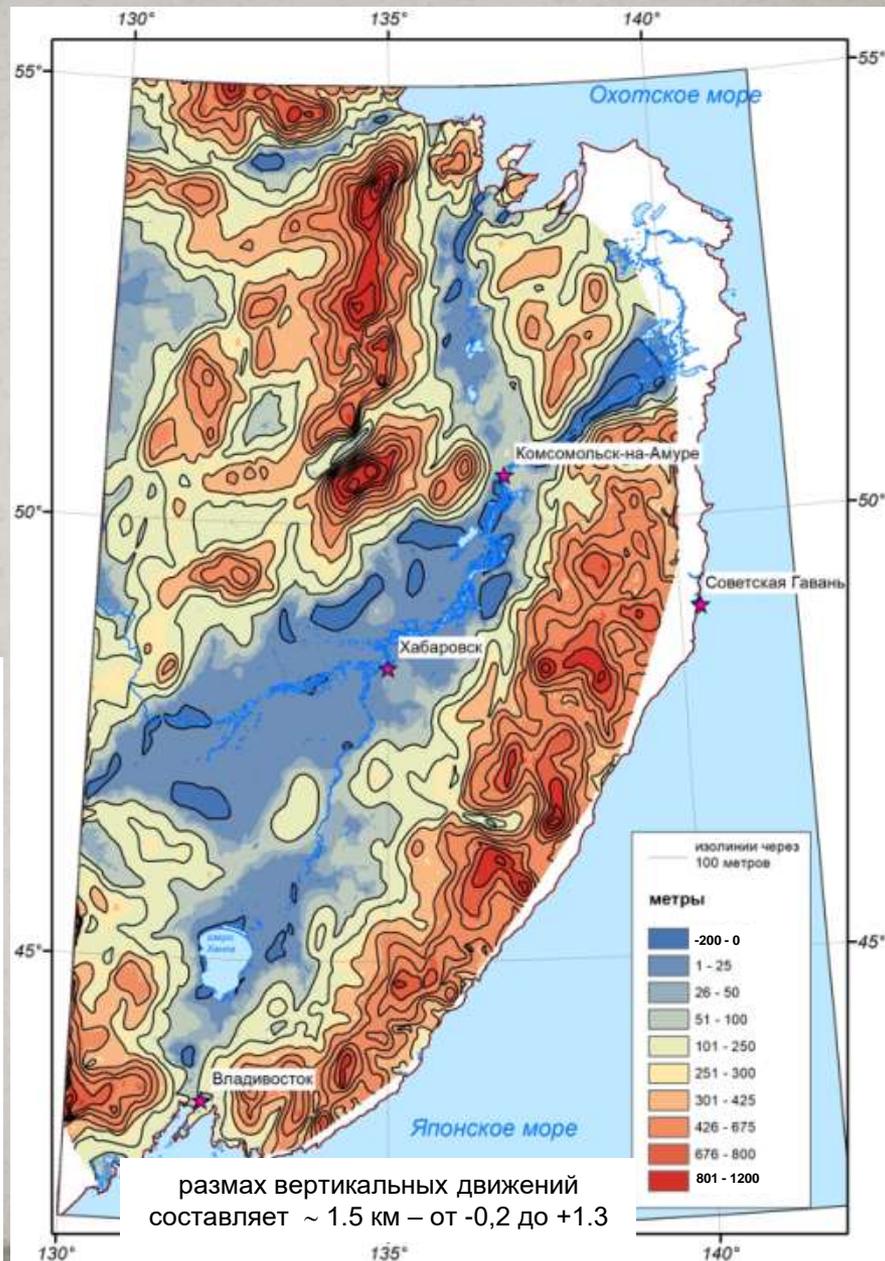
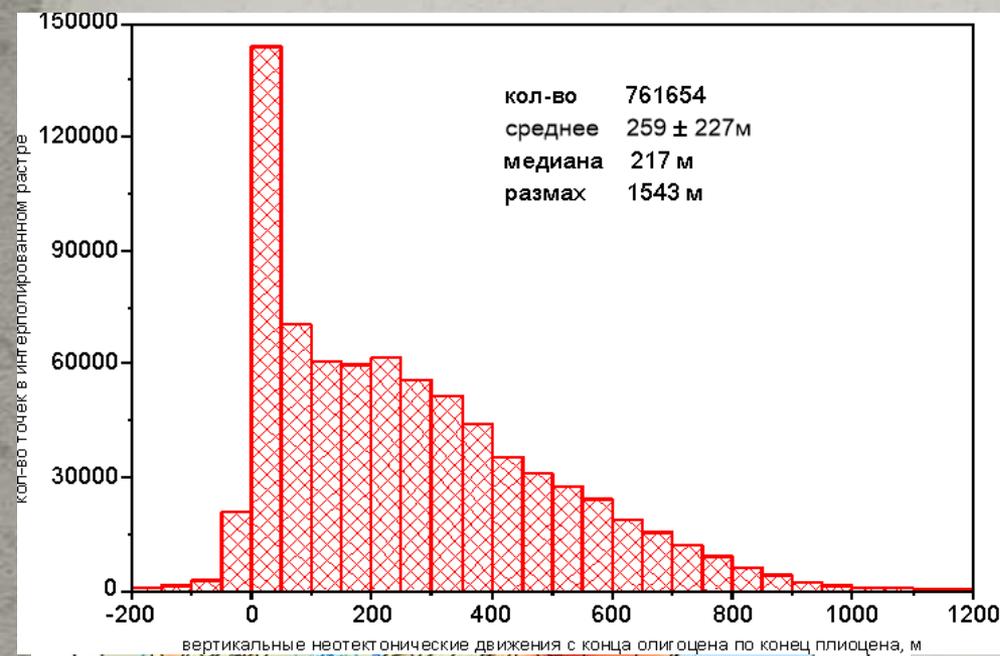
Отрицательные значения в большинстве случаев свидетельствуют об интенсивности эрозионной переработки ранее существовавшего рельефа. Близкие к нулю значения характерны для областей, в пределах которых опускание было компенсировано осадконакоплением.

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 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 четко, как нам представляется, наша карта отражает структурный план и блоковое строение региона.

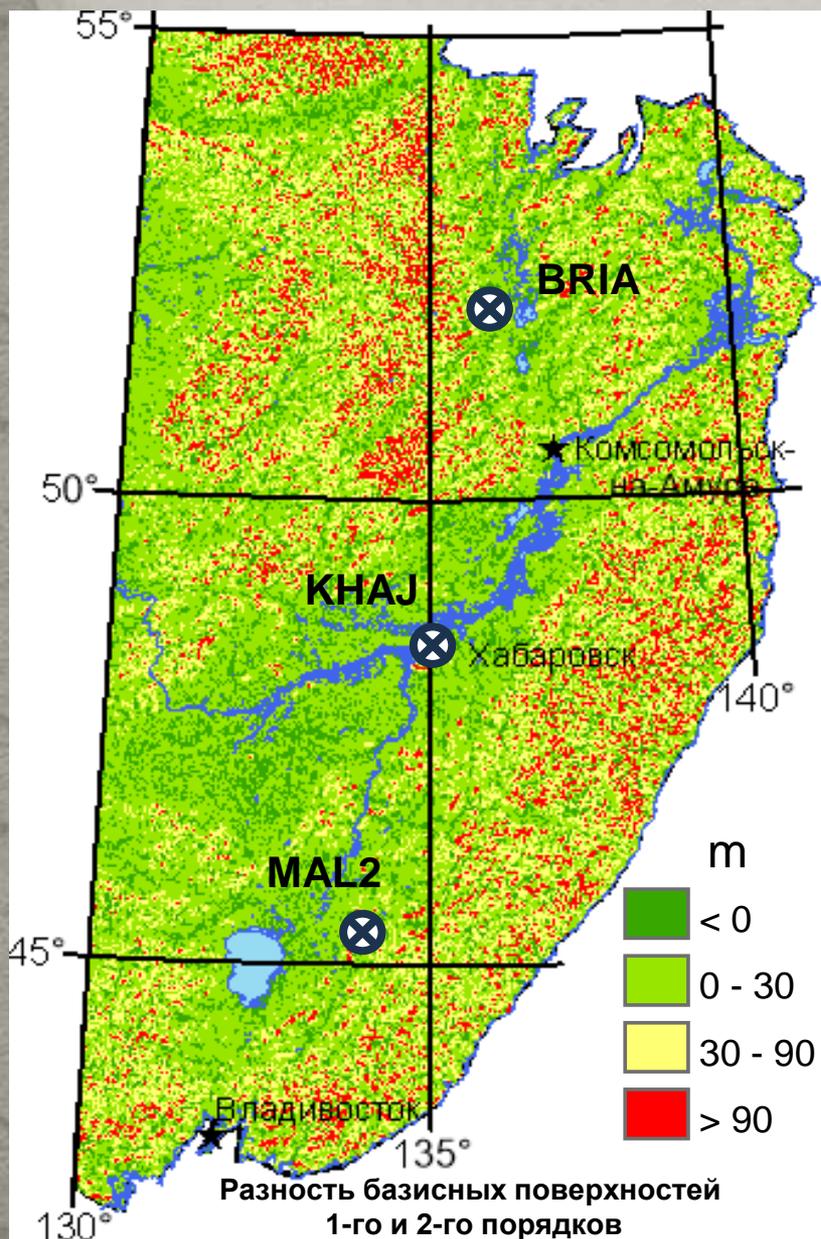
СОПОСТАВЛЕНИЕ НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ (Горкуша и др., 1999) И КАРТЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ (наст. работа)



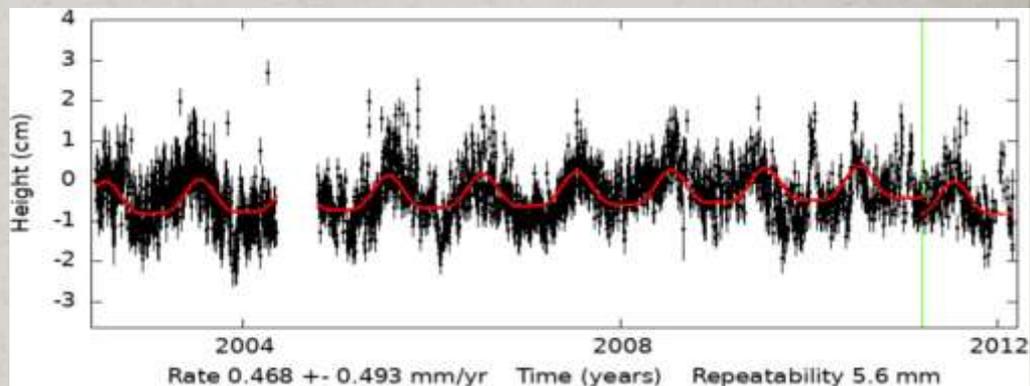
Необходимо отметить, что примененная нами методика не позволяет напрямую рассчитывать отрицательные новейшие тектонические движения, поэтому отрицательные значения соответствуют глубине наиболее интенсивного эрозионного вреза.

О значительных отрицательных вертикальных неотектонических движениях в Среднеамурском осадочном бассейне свидетельствует **мощность послезоценовых отложений**: 1) олигоценовая бирофельдская свита до 450 м; 2) олигоцен-миоценовые эвур-нимеленская, могдинская и мавринская серии общей мощностью до 500 м; 3) миоценовые ушуминская, кизинская и головинская свиты общей мощностью свыше 200 м; 4) миоцен-плиоценовая острогорская толща и неоген-квартер приамурская свита.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗА ГОЛОЦЕН С ДАННЫМИ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ



Согласно базе данных «GNSS Time Series» (<https://sideshow.jpl.nasa.gov/post/series.html>) абсолютная вертикальная скорость пункта г. Хабаровск (KHAJ) в эпоху 2002-2012 гг. составила 0.468 ± 0.493 мм/год, т.е. равна 0.

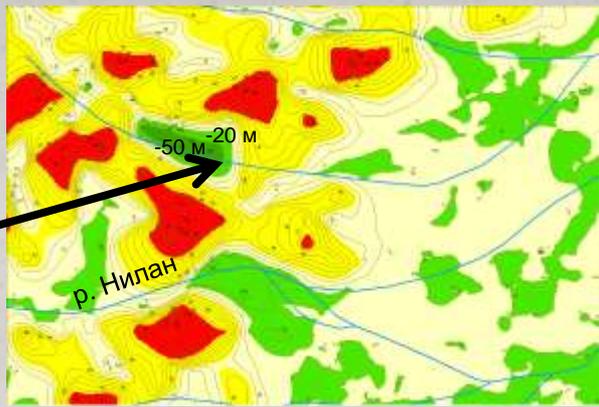
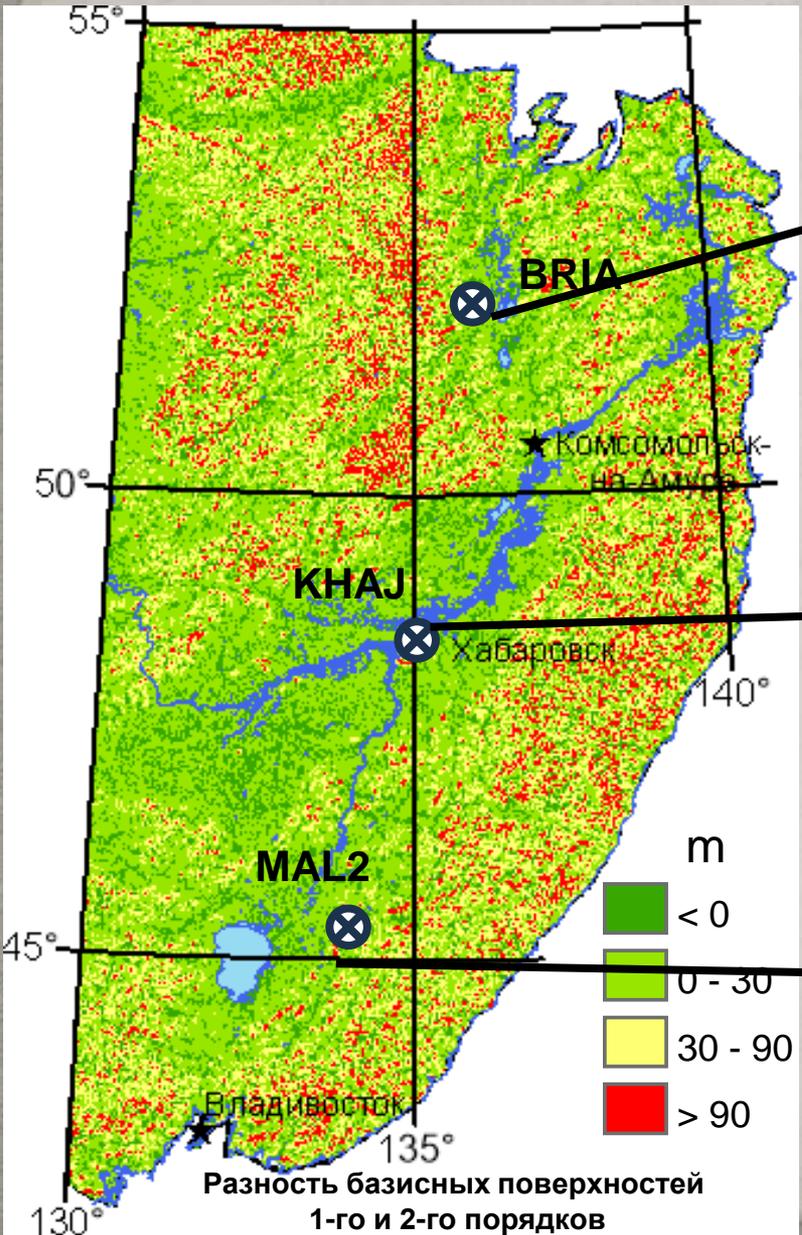


По данным работы (Тимофеев и др., 2017) для пунктов Бриакан (BRIA) и Малиновка (MAL2) в эпоху 2003-2014 гг. зафиксированы вертикальные скорости относительно пункта г. Хабаровск -5.19 ± 3.75 и $+5.79 \pm 3.89$ мм/год, соответственно.

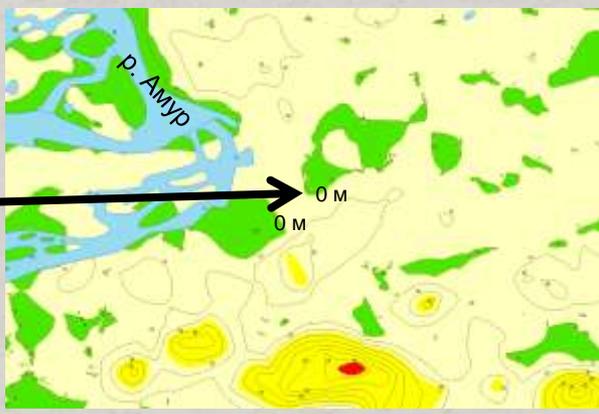
Скорости смещения пунктов геодинимической сети относительно среднего значения для двух пунктов ZMEY и KHAJ. Эпоха 2003–2014 гг.

Долгота Λ, в градусах	Широта Ф, в градусах	Скорость Vλ, в мм/год	Ошибка Vλ, в мм/год	Скорость Vφ, в мм/год	Ошибка Vφ, в мм/год	Скорость Vh, в мм/год	Ошибка Vh, в мм/год	Пункт
135,31	48,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Среднее
138,26	50,36	-3,12	1,38	-3,88	1,74	-1,68	6,76	UKTR
136,91	51,03	-2,24	0,87	+0,22	1,13	+0,38	3,79	HURM
136,31	44,73	4,09	0,28	-4,69	0,29	-0,84	0,99	PLST
135,92	52,08	-3,31	0,91	-0,52	1,03	-5,19	3,75	BRIA
135,87	51,57	-3,05	1,09	+1,26	1,17	-4,94	3,86	DUKI
135,82	45,11	2,88	0,28	-2,48	0,29	+0,69	1,08	NEBO
135,44	45,40	2,81	0,34	-2,36	0,34	-3,23	1,55	BURS
135,06	46,00	1,40	0,33	-0,25	0,35	+0,53	1,31	EAST
134,08	45,81	2,66	0,85	2,77	1,06	+5,79	3,89	MAL2

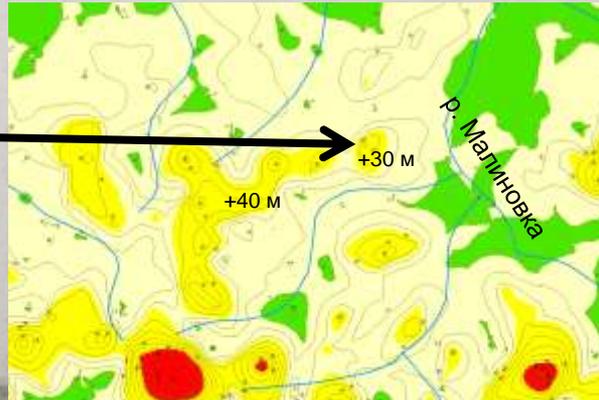
СОПОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗА ГОЛОЦЕН С ДАННЫМИ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ (продолжение)



$V_{GPS} = -5.19 \pm 3.75$
мм/год. За 10 тысяч лет это **-51.9 ± 37.5 м.**
В наших построениях этот блок находится между изолиниями **-20 ÷ -50 м.**

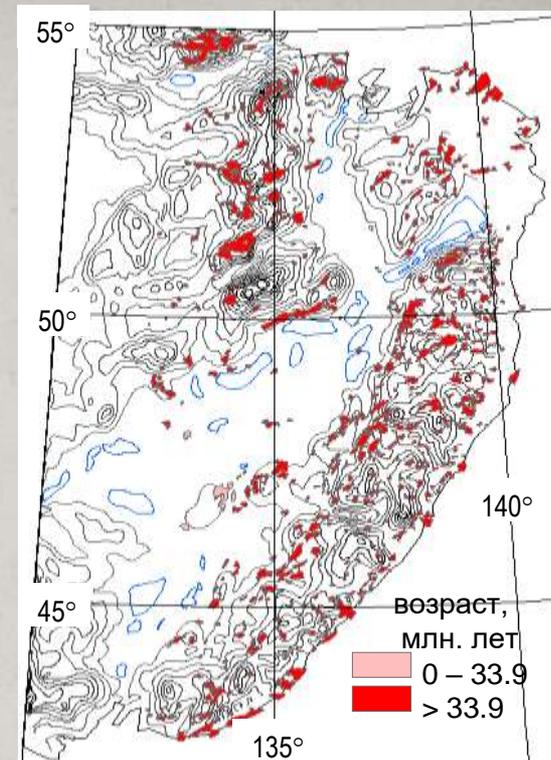
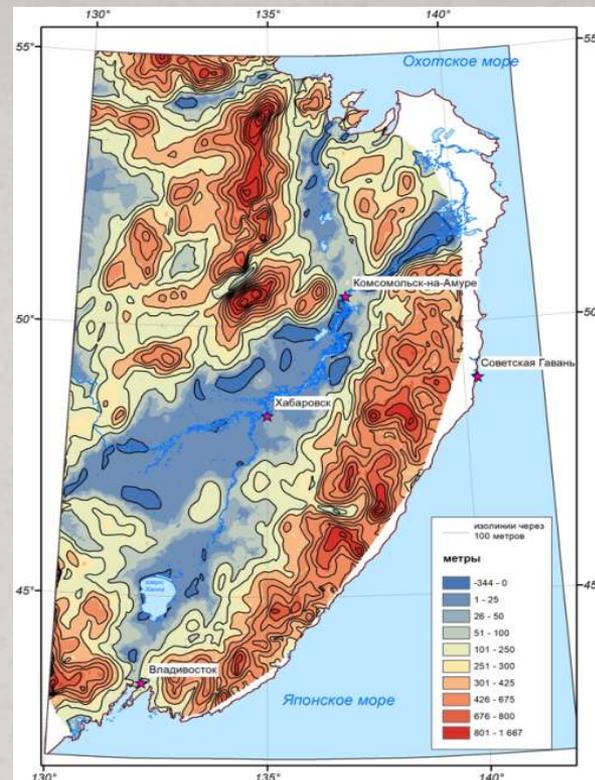
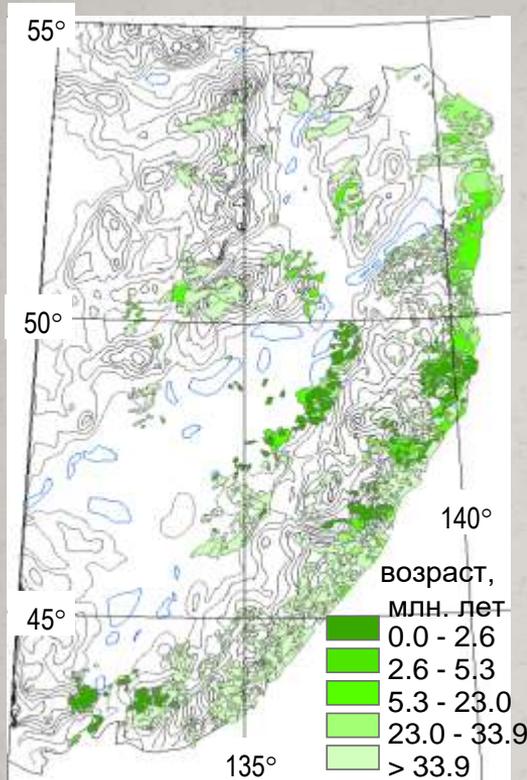


$V_{GPS} = 0.468 \pm 0.493$
мм/год. За 10 тысяч лет это **+4.7 ± 4.9 м.**
В наших построениях этот блок находится между нулевыми изолиниями.



$V_{GPS} = +5.79 \pm 3.89$
мм/год. За 10 тысяч лет это **+57.9 ± 38.9 м.**
В наших построениях этот блок находится между изолиниями **+20 ÷ +50 м.**

НОВАЯ НЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ КАРТА, СОПОСТАВЛЕНИЕ С ПОЛОЖЕНИЕМ ПОЛЕЙ ВУЛКАНИТОВ И ГРАНИТОИДОВ



Полагаем, что одна из причин подъема собственно Сихотэ-Алиня заключается в следующем. Геохимические данные по изотопии неодима и стронция в базальтах [Мартынов, 1995], позволили разделить их на две серии: низкокалиевые щелочные и умеренно калиевые. В щелочных лавах присутствуют ксенолиты мантийных пород. Источник магматизма связывается с плавлением и растяжением субконтинентальной литосферы под влиянием погружающейся океанической плиты (слэба – Маньчжурская аномалия).

Разогрев литосферы мог вызвать постмагматическое поднятие позднемеловых гранитоидов, широко развитых в пределах Сихотэ-Алиньского орогенного пояса.

Выводы

- 1. На основании цифровой модели рельефа (SRTM03) и построенной по ней модели гидросети проведен 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 подъем Буреинского хребта, проходил до плейстоцена, тогда как Сихотэ-Алиньский хребет был более активен на поздних этапах развития.

Благодарим за внимание!



Список литературы

- 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.
- 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.
- Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // Физика Земли. 1996. № 12. С. 5-36.
- 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.
- 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.
- 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.
- Линдберг Г.У. Крупные колебания уровня океана в четвертичный период. Биогеографические обоснования гипотезы. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., 1972. 548 с.
- Нгуманов И.И., Нгуманова Е.В., Чернова И.Ю. Основы морфометрического метода поиска неотектонических структур. Казань: Казанский университет, 2016. 53 с.
- Петров О.В., Зубова Т.Н., Вербицкий В.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:100 000 // Регионал. геолог. и металлоген. 2016. № 67. С. 19-33.
- 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.
- Симонов Д.А., Захаров В.С., Гильманова Г.З., Диденко А.Н. Новейшие вертикальные движения Южного 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>
- 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>
- 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.
- Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Издательство Саратов ун-та,1960, 90 с.
- Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. 232 с.
- 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-Алиньского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43. № 3. С. 3-18. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-3-3-18
- 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>
- ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: 2011.
- Strahler A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology // Transactions of the American Geophysical Union. 1957, Vol. 38, N 6. P. 913–920.
- Zakharov V.S., Didenko A.N., Gil'manova G.Z., Merkulova T.V., 2019. Characteristics of self-similarity of seismicity and the fault network of the Sikhote Alin orogenic belt and the adjacent areas. Geodynamics & Tectonophysics. 10 (2), 541–559. doi:10.5800/GT-2019-10-2-0425.