

Байкальский рифт: что мы о нем знаем? (лекция 1)

*«Как великий художник, природа
умеет и с небольшими средствами
достигать великих эффектов»*

Гейне Генрих
(немецкий поэт)

Неужели природа так проста, что на самом деле в ней все ясно и наука о природе — чистое заблуждение, искусственное создание загадок, на решение которых человечество тратило столько напрасных усилий?

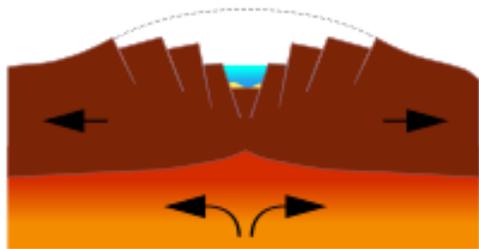
[Федор Иванович Тютчев]

Все дело в том, что сама в себе, независимо от человеческого сознания, природа не содержит, не может содержать ничего загадочного. Субъективное понятие загадочности возникает как следствие несовершенства отражения человеческим сознанием явлений природы. Преодоление этого несовершенства, стремление к нему составляют путь развития науки.

Загадки, секреты, тайны природы для пытливого человеческого сознания — мир, полный романтики и несравненной привлекательности. И в этом смысле природа не обидела Восточную Сибирь. Она создала Байкал как загадку для нас, как закономерно-необходимое явление в развитии земных недр.

[Николай Александрович Флоренсов]

Rift Valley
(African rift valley)



New Ocean Basin
(Red Sea)



Mature Ocean
(Atlantic)

Mid-Ocean Ridge Sediments

Crust

Mantle

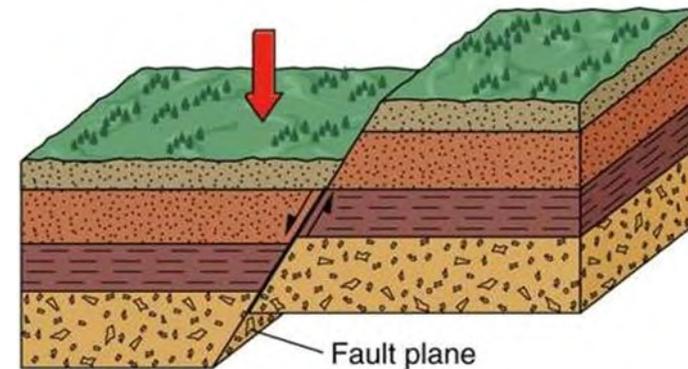


Рифт – линейный прогиб, ограниченный одним или несколькими субпараллельными сбросами, образующимися при растяжении земной коры.

Сброс - разлом, по которому один блок земной коры опускается относительно другого.

Геологический разлом, или разрыв — нарушение сплошности горных пород

Геологический разлом: сброс

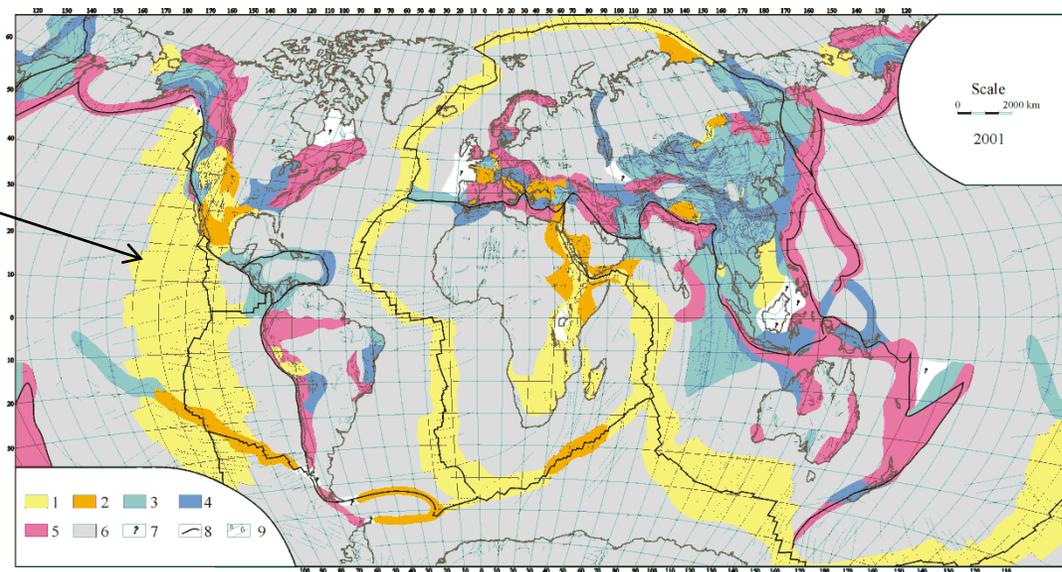


Normal fault
A Dip-slip faults

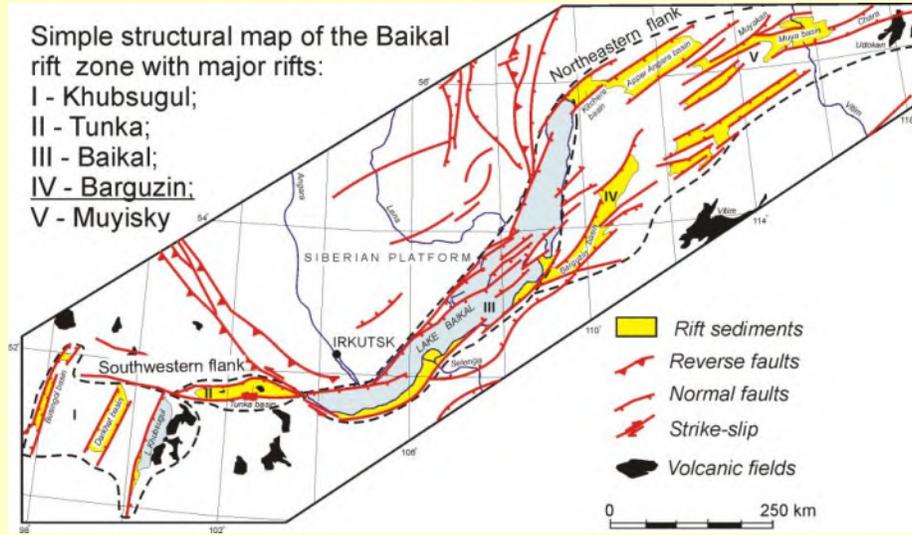
зоны растяжения

Карта напряженного состояния литосферы

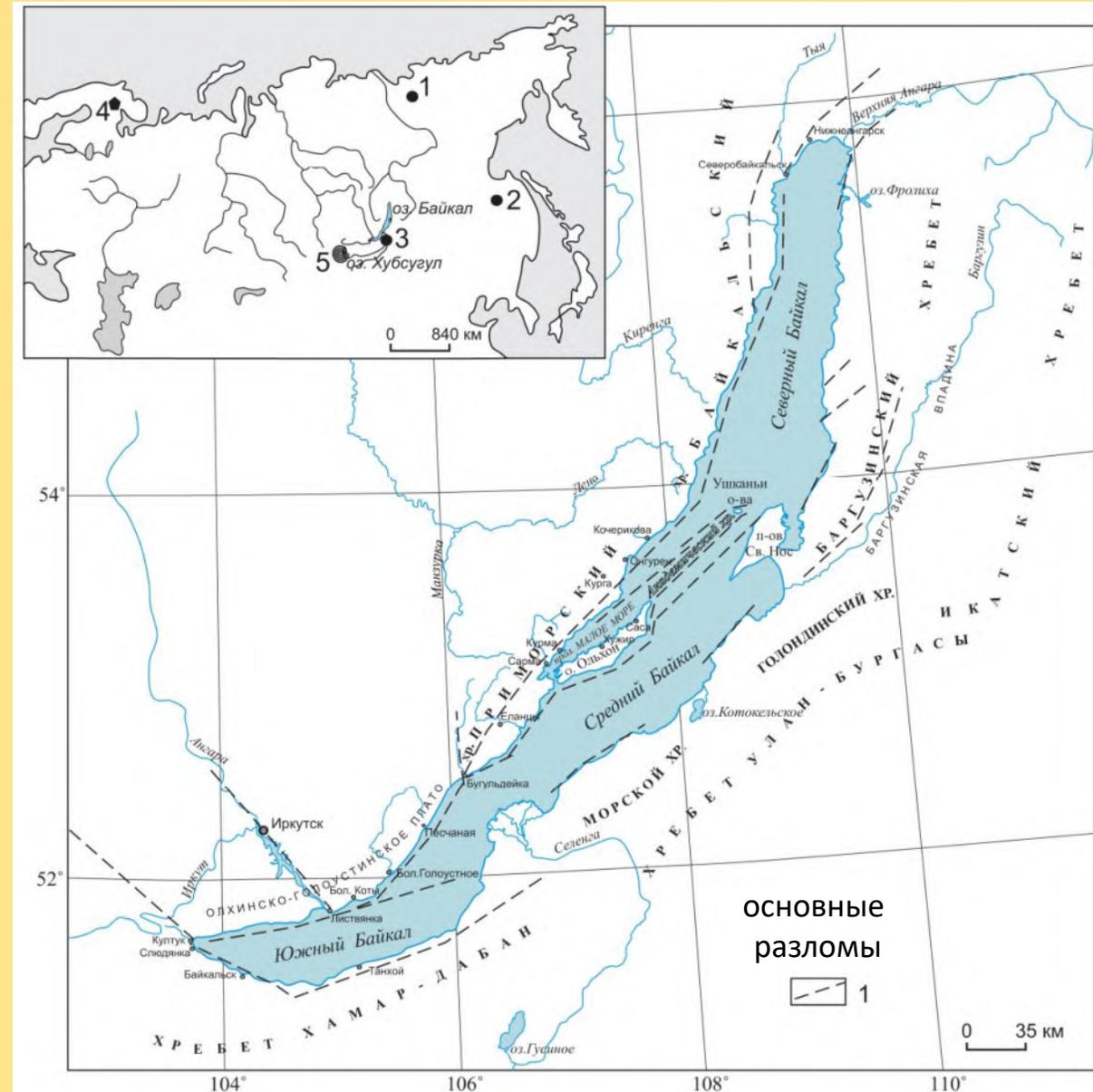
Составили С.И. Шерман и О.В. Лунина



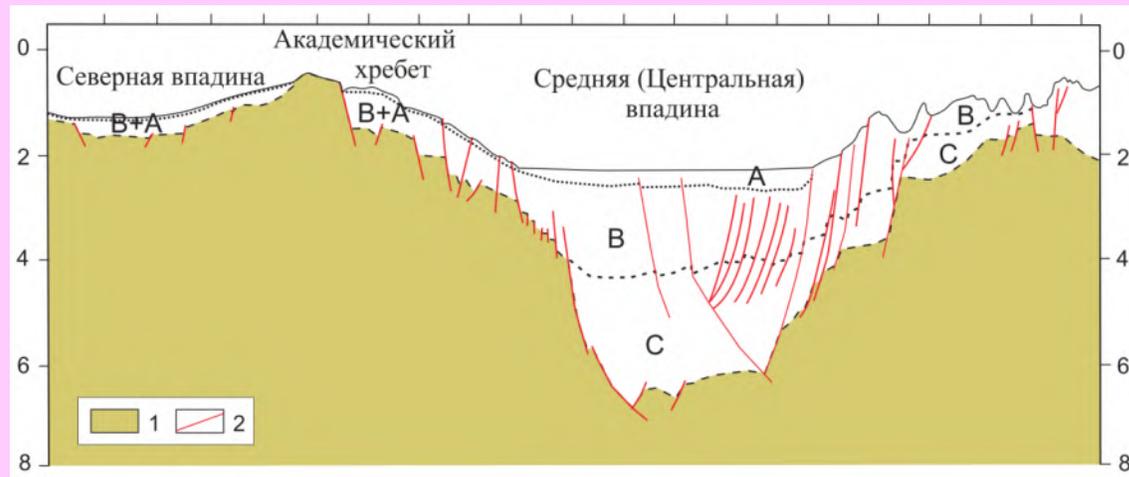
Генерализованная структурная карта Байкальской рифтовой зоны [Логачев, 2003]



Обзорная карта Байкальского рифта [Мац, Ефимова, 2011]



Строение осадочной толщи Байкальской впадины (по данным многоканального сейсмического профилирования [Мац, 2015])



О ЧЕМ БУДЕМ ГОВОРИТЬ:

1. Геологическое прошлое Байкальского рифта
2. Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней
3. Настоящее и будущее Байкальского рифта
4. Землетрясения и их видимые следы
5. Термальные источники, выходы газов и нефти
6. Уникальные места Байкальского рифта и сопредельных территорий:
беглый обзор



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

www.stratigraphy.org

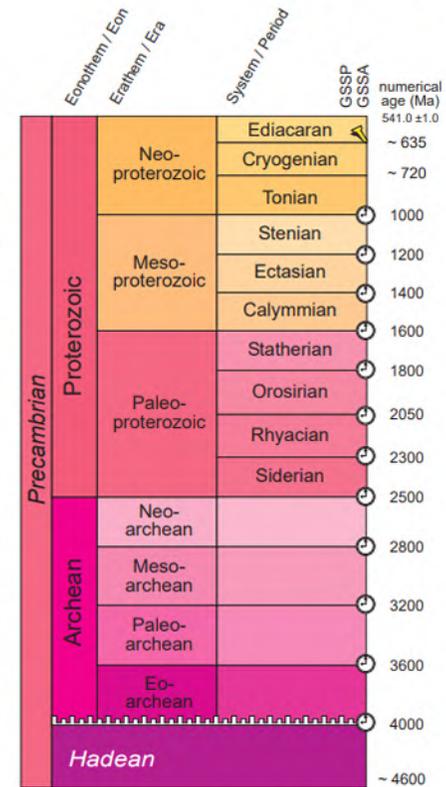
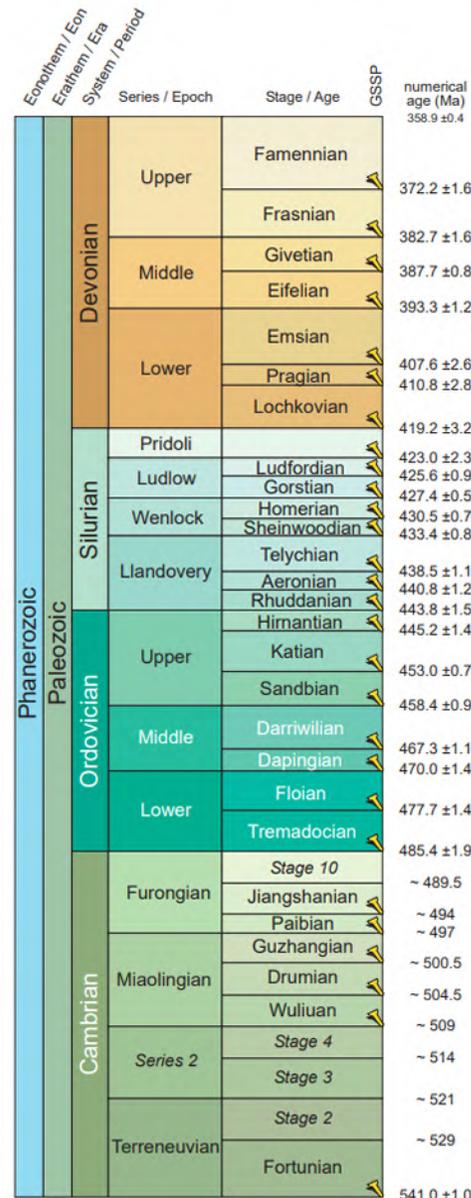
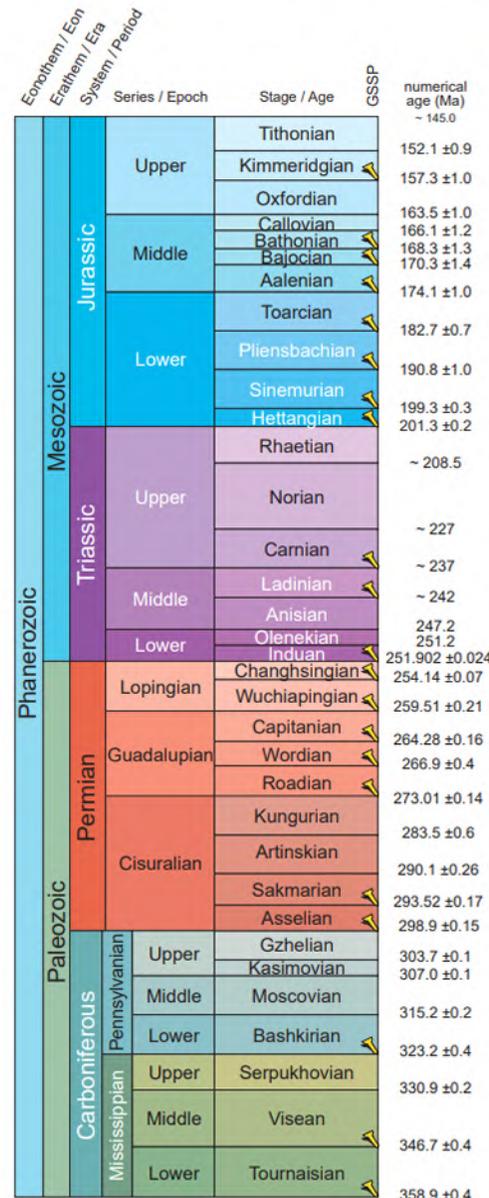
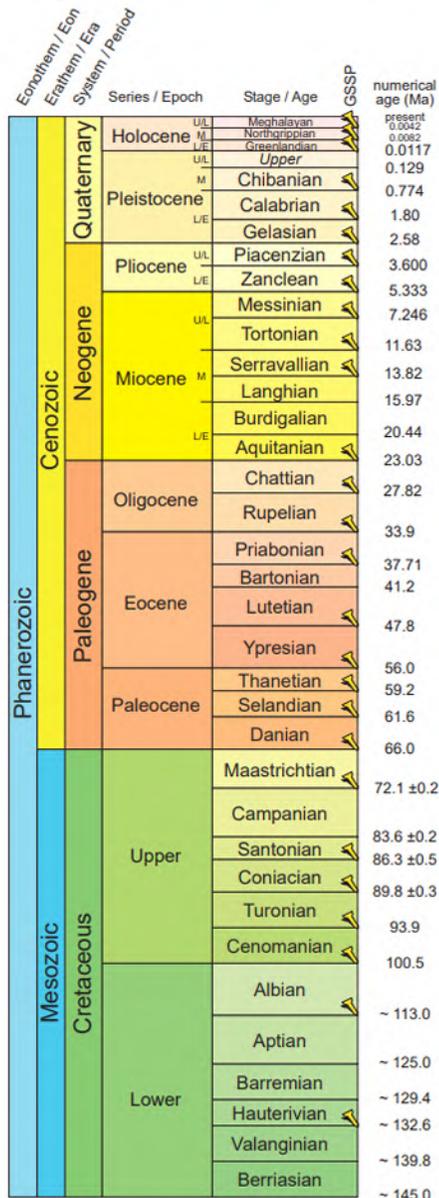
International Commission on Stratigraphy

v 2021/10



Байкальский рифт
от зарождения
до наших дней

70 млн.
лет



Units of all ranks are in the process of being defined by Global Boundary Stratotype Section and Points (GSSP) for their lower boundaries, including those of the Archean and Proterozoic, long defined by Global Standard Stratigraphic Ages (GSSA). Italic fonts indicate informal units and placeholders for unnamed units. Versioned charts and detailed information on ratified GSSPs are available at the website <http://www.stratigraphy.org>. The URL to this chart is found below.

Numerical ages are subject to revision and do not define units in the Phanerozoic and the Ediacaran; only GSSPs do. For boundaries in the Phanerozoic without ratified GSSPs or without constrained numerical ages, an approximate numerical age (-) is provided.

Ratified Subseries/Subepochs are abbreviated as U/L (Upper/Late), M (Middle) and L/E (Lower/Early). Numerical ages for all systems except Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian are taken from 'A Geologic Time Scale 2012' by Gradstein et al. (2012), those for the Quaternary, upper Paleogene, Cretaceous, Triassic, Permian and Precambrian were provided by the relevant ICS subcommissions.

Colouring follows the Commission for the Geological Map of the World (www.cgmw.org)

Chart drafted by K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard, N. Car (c) International Commission on Stratigraphy, October 2021

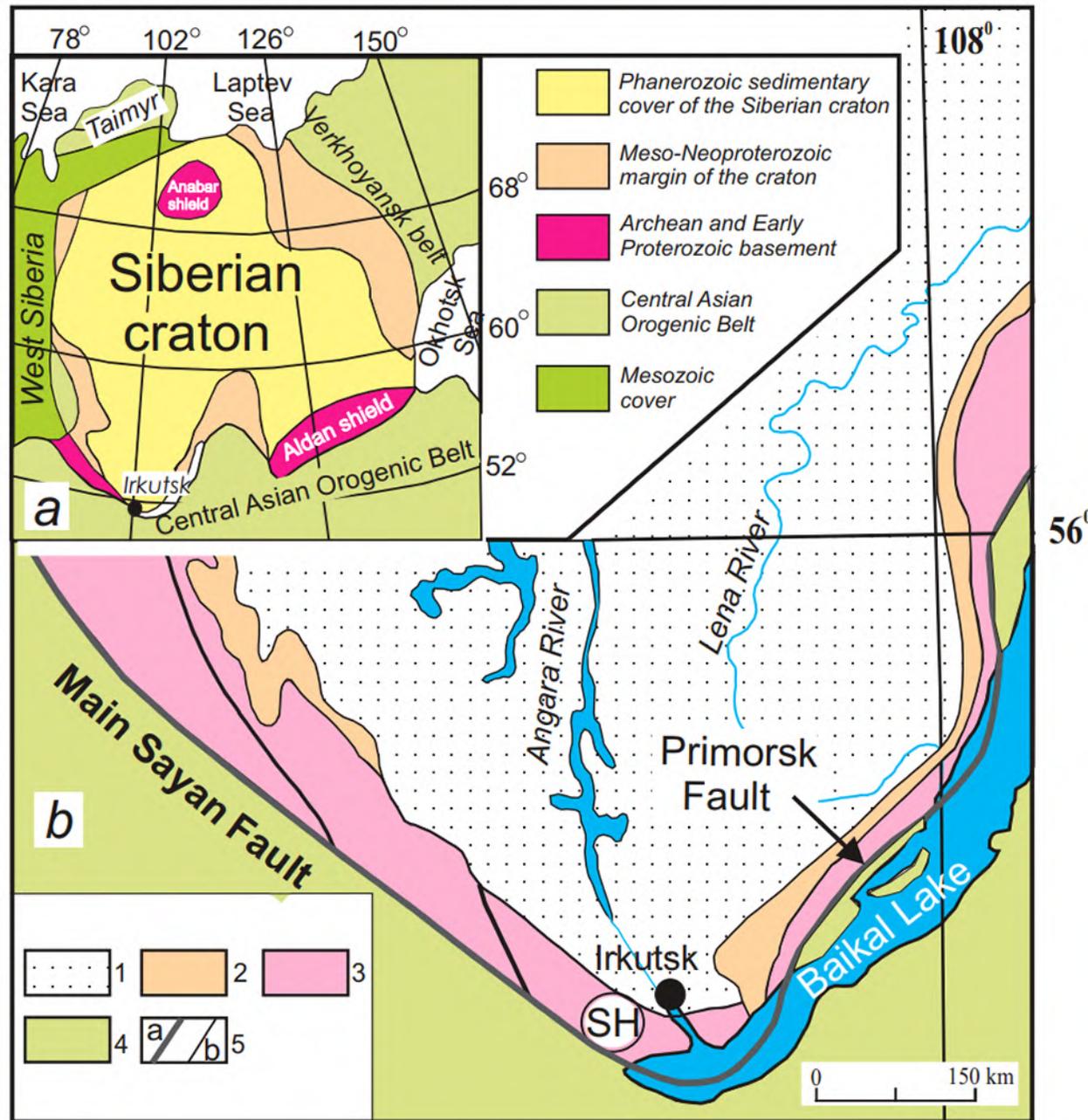
To cite: Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 199-204.

URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2021-10.pdf>

4600 млн.
лет
Возраст
Земли

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Тектонический каркас южной части Сибирской платформы



1 – Phanerozoic sedimentary cover of the Siberian craton;

2 – Neoproterozoic sediments;

3 – Archean – Early Proterozoic basement;

4 – Central Asian Orogenic Belt;

5a – modern boundary of the Siberian craton based on the geological and geophysical data;

5b – faults.

SH – Sharizhlgai metamorphic massif

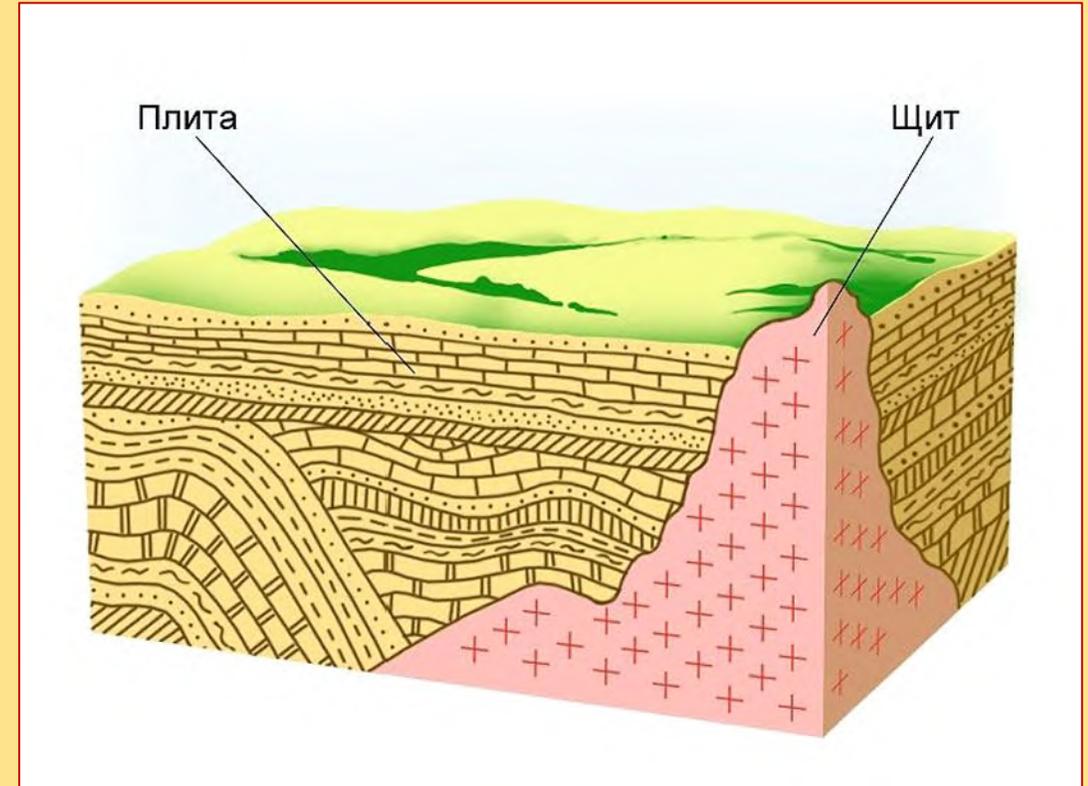
Платформа в геологии — основной элемент структуры континентов, характеризующийся малой интенсивностью тектонических движений, магматической деятельности и плоским рельефом.

Платформы противопоставляются высокоподвижным орогенным поясам.

Платформы имеют двухъярусное строение: нижний ярус (фундамент платформы, **кратон**) образуют комплексы сильно смятых, метаморфизованных и пронизанных гранитами пород; верхний ярус (платформенный чехол) сложен спокойно залегающими преимущественно осадочными и отчасти вулканогенными толщами.

В пределах платформы выделяются щиты, где складчатый фундамент выступает на поверхность, и плиты, в которых фундамент погружен на глубину.

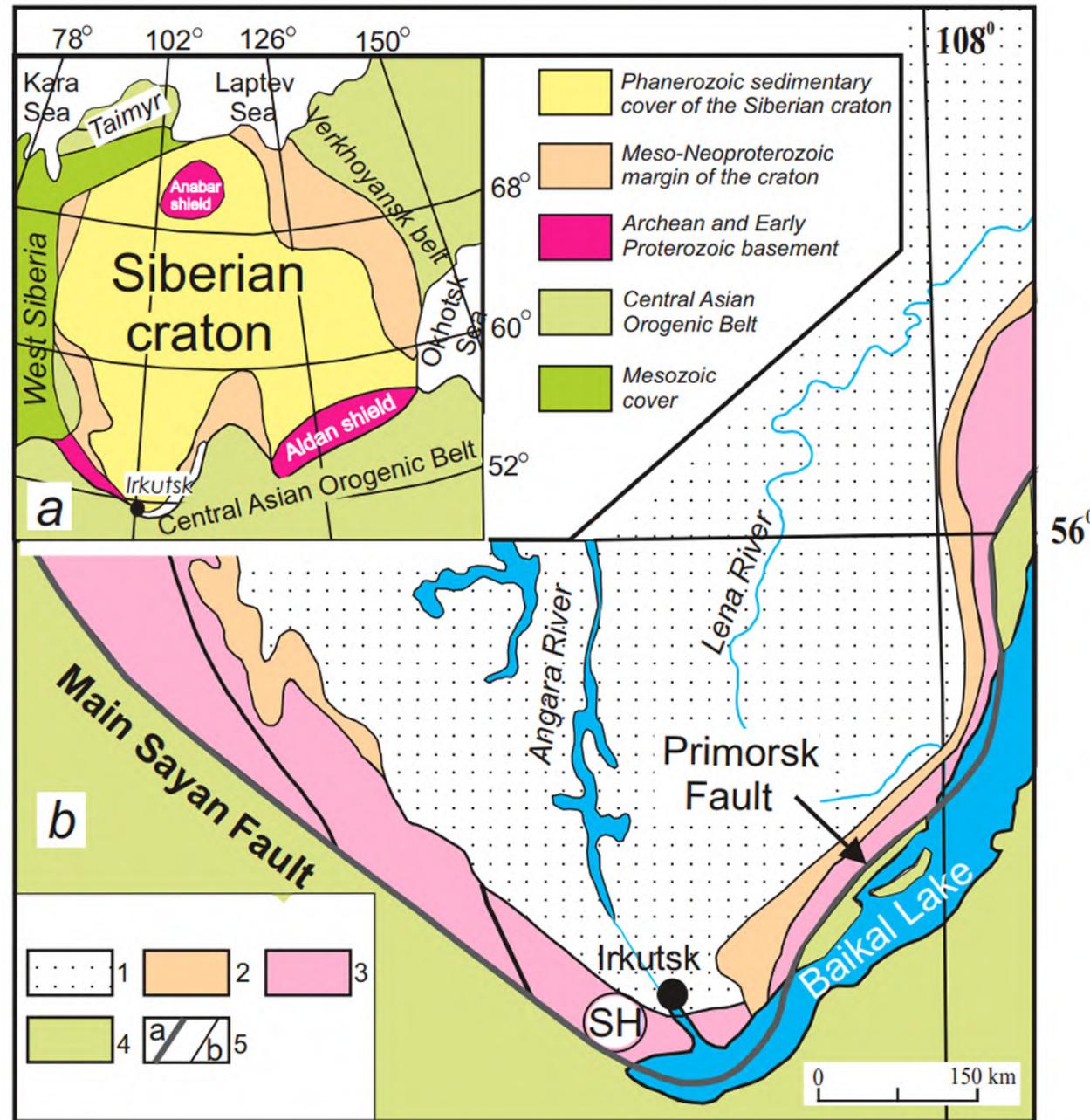
Схематическое строение платформы



Тектоника — раздел геологии, изучающий движение земной коры, формы залегания горных пород, создаваемые этими движениями, и историю их развития.

Тектонический — связанный с процессами (движениями) в земной коре.

Тектонический каркас южной части Сибирской платформы



1 – Phanerozoic sedimentary cover of the Siberian craton;

2 – Neoproterozoic sediments;

3 – Archean – Early Proterozoic basement;

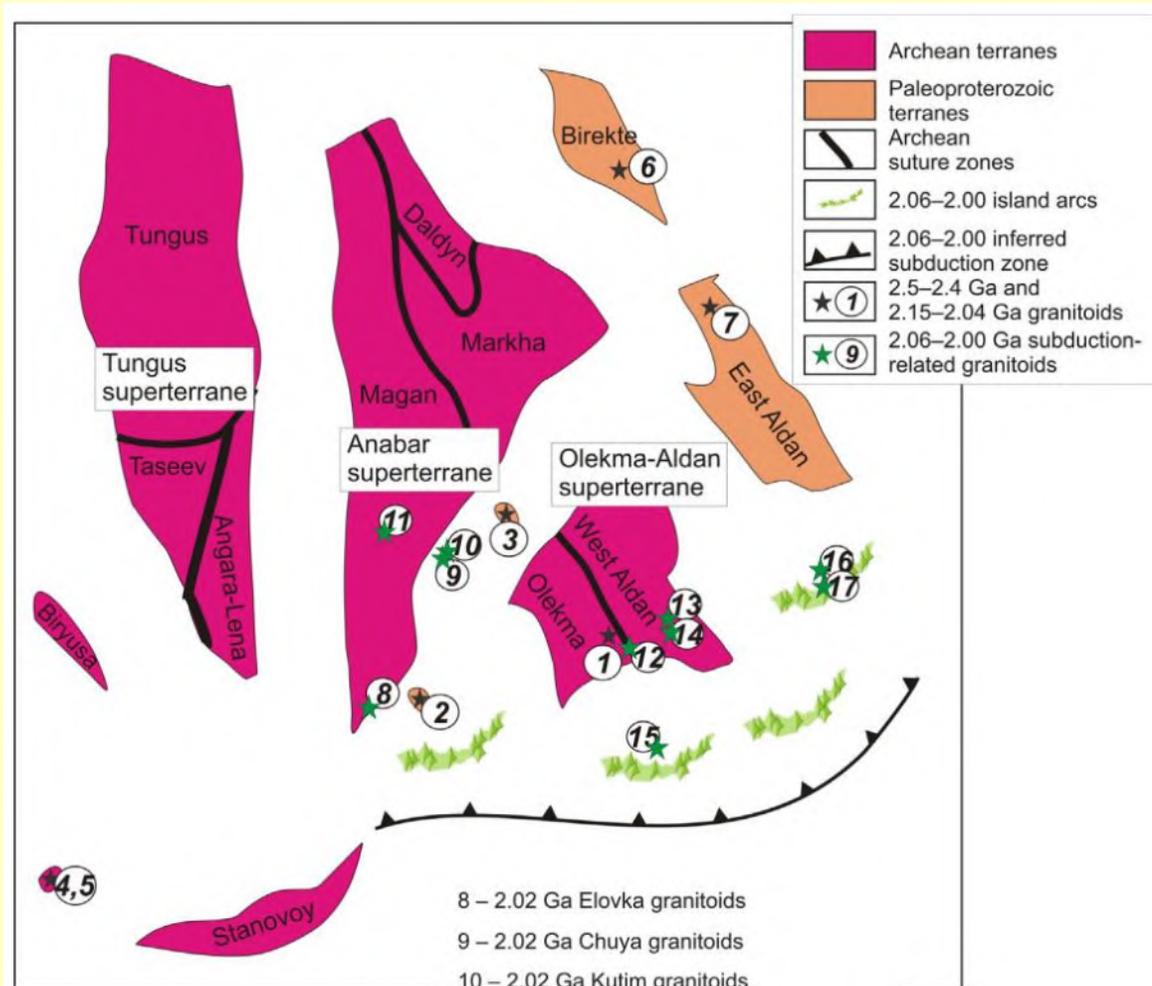
4 – Central Asian Orogenic Belt;

5a – modern boundary of the Siberian craton based on the geological and geophysical data;

5b – faults.

SH – Sharizhlgai metamorphic massif

До Байкальского рифта (2.06–2.00 млрд. лет назад)



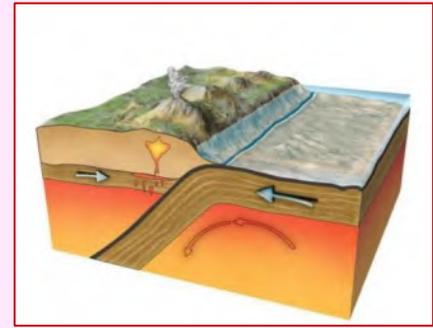
- 1 – 2.5–2.4 Ga Neluka granitoids
- 2 – 2.15 Ga Khomut granitoids
- 3 – 2.06 Ga leucogranites, Chuya block
- 4 – 2.1 Ga plagiogranites, Katugin block
- 5 – 2.06 Ga Katugin granitoids
- 6 – 2.04 Ga Olenek granitoids
- 7 – 2.04 Ga Sunnagin granitoids
- 8 – 2.02 Ga Elovka granitoids
- 9 – 2.02 Ga Chuya granitoids
- 10 – 2.02 Ga Kutim granitoids
- 11 – 2.0 Ga granodiorites, core samples
- 12 – 2.06–2.05 Ga Balaganakh metavolcanics
- 13 – 2.04–2.02 Ga Ungra gabbro and granitoids
- 14 – 2.01 Ga Tipton plagiogneisses
- 15 – 2.01 Ga Fedorovo metavolcanics
- 16 – 2.06 Ga Dzhagdakan diorites
- 17 – 2.06 Ga Khoyunda granitoids

Основные элементы фундамента Сибирской платформы 2.06–2.00 млрд. лет назад [Donskaya, 2020]

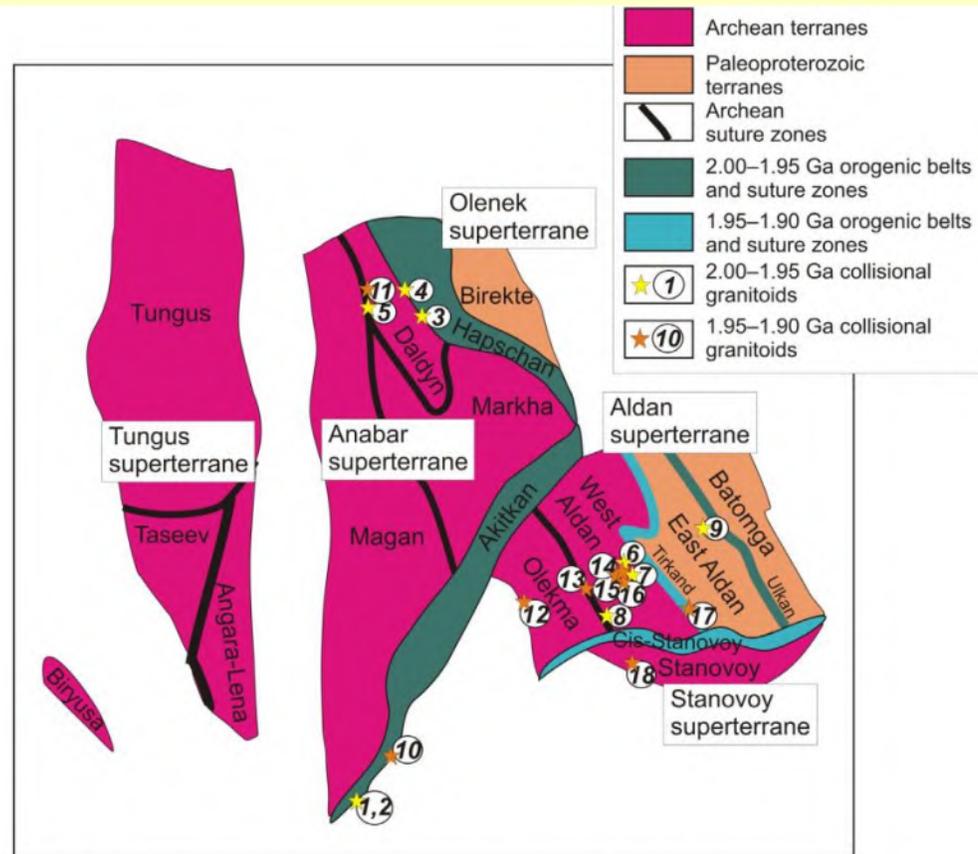
В кружках:

- позиция гранитоидов возрастом 2.06–2.00 млрд. лет, связанных с субдукцией,
- а также гранитоидов с возрастом 2.5–2.4 и 2.15–2.04 млрд. лет, не связанных с процессами «сборки» фундамента

Субдукция — линейная зона на границе плит, вдоль которой происходит погружение одних блоков земной коры под другие. Чаще всего в них более тяжёлая и тонкая океаническая кора пододвигается под окраину континента или под островную дугу, погружаясь в мантию.



До Байкальского рифта (1.95–1.90 млрд. лет назад)



- | | |
|---|--|
| 1 – 1.97 Ga Khomut granitoids (zircon rim) | 10 – 1.93–1.91 Ga Trekhgolovy granites |
| 2 – 1.98 Ga granite-gneisses, Goloustnaya block | 11 – 1.92–1.90 Ga granite-gneisses, Kotuykan zone |
| 3 – 1.98 Ga granodiorite, Billyakh collisional zone | 12 – 1.91 Ga Nichatka granites |
| 4 – 1.98–1.97 Ga Billyakh granitoids | 13 – 1.90 Ga Amut granites |
| 5 – 1.96 Ga granite-gneiss, Kotuykan zone | 14 – 1.93–1.92 Ga granites, Nimnyr block |
| 6 – 1.99 Ga diorites associated with the Fedorovo Fm. | 15 – 1.92 Ga Ust'-Idzhek charnockites |
| 7 – 1.96 Ga West Aldan diorites and tonalites | 16 – 1.91–1.90 Ga granites of small intrusions, West Aldan terrane |
| 8 – 1.97 Ga Dzhalunda granites | 17 – 1.95 Ga granites, junction of the West and East Aldan terranes |
| 9 – 1.98–1.97 Ga Sunnagin enderbites | 18 – 1.91–1.88 Ga migmatites and charnockites, Stanovoy superterrane |

Основные элементы фундамента Сибирской платформы 1.95–1.90 млрд. лет назад

[Donskaya, 2020]

В кружках:

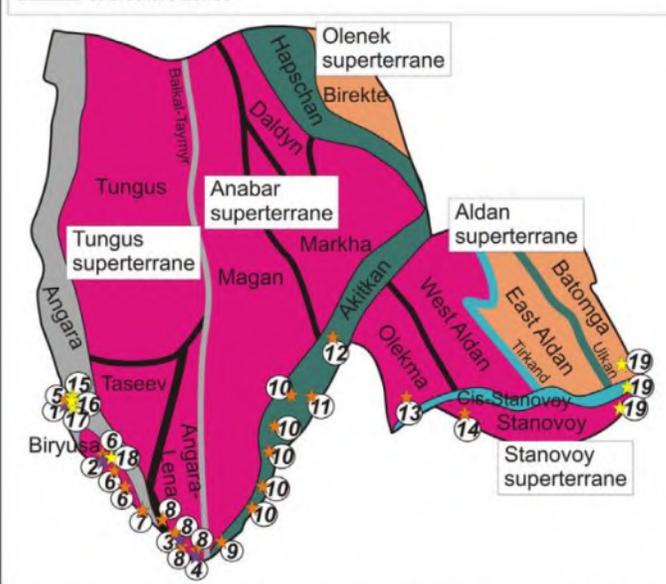
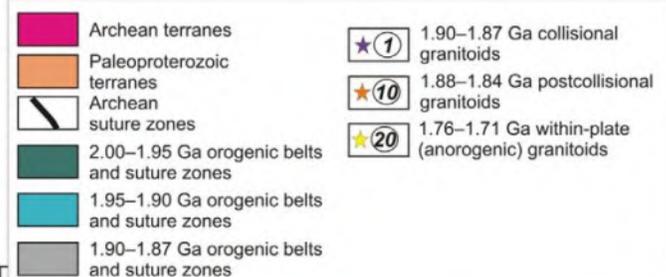
- позиция гранитоидов возрастом 2.00–1.95 и 1,95-1,90 млрд. лет, связанных с коллизией

Коллизия в геологии — это столкновение и дальнейшее взаимодействие двух континентальных плит, которые не могут погрузиться друг под друга, в результате чего происходит смятие коры и образование горных цепей.



Коллизия следует непосредственно за субдукцией (океан окончательно закрывается).

До Байкальского рифта (1.90–1.87 млрд. лет назад)



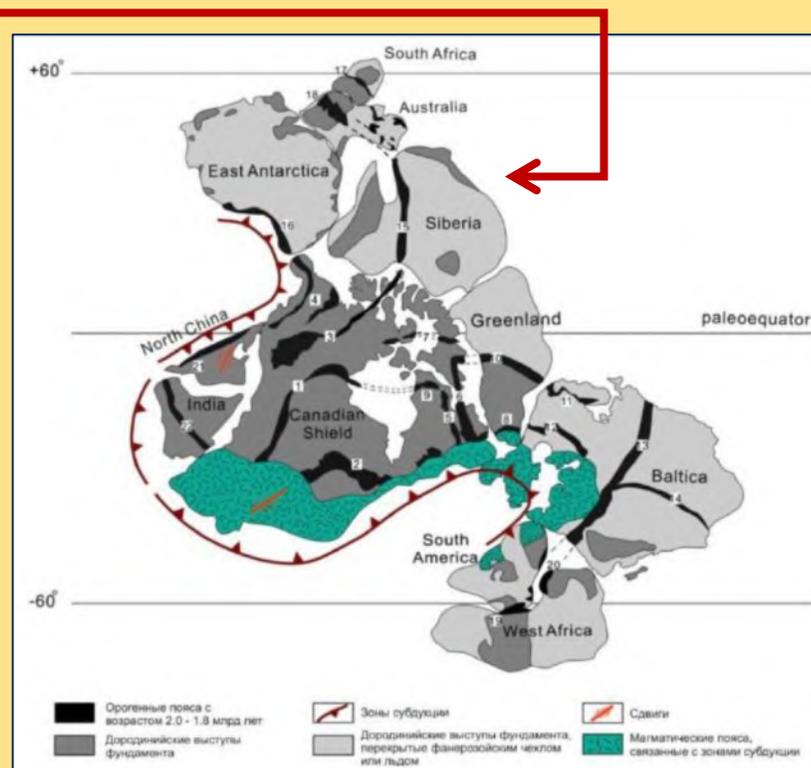
- | | |
|---|--|
| 1 – 1.88 Ga migmatites and granites associated with the Kan Gr. | 11 – 1.86 Ga granitoids and volcanics, Chuya block |
| 2 – 1.90 Ga migmatites and granites associated with the Khailama Gr. | 12 – 1.85 Ga Chuya-Kodar granites |
| 3, 4 – 1.87–1.85 Ga granitoids associated with the Sharyzhgaly Gr. | 13 – 1.88–1.87 Ga Kodar granites |
| 5 – 1.84 Ga Tarak granites | 14 – 1.87 Ga Balykhta granites |
| 6 – 1.90–1.86 Ga granitoids and volcanics, Sayan-Birusa volcanoplutonic belt | 15 – 1.75 Ga Tarak granites |
| 7 – 1.87–1.83 Ga granitoids, Urik-Iya graben | 16 – 1.74 Ga hypersthene granites, Kan uplift |
| 8 – 1.87–1.84 Ga granitoids, Sharyzhgaly uplift | 17 – 1.74 Ga Yenisey volcanics |
| 9 – 1.86 Ga Primorsky granitoids | 18 – 1.75 Ga Podporog granites |
| 10 – 1.88–1.84 Ga granitoids and volcanics, North Baikal volcanoplutonic belt | 19 – 1.74–1.71 Ga granites and volcanics, Ulsan volcanoplutonic belt |

Основные элементы фундамента Сибирской платформы 1.90–1.87 млрд. лет назад

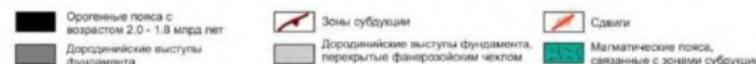
[Donskaya, 2020]

В кружках позиция:

- коллизионных гранитоидов возрастом 1,90-1,87 млрд. лет,
- постколлизионных гранитоидов и кислых вулканитов возрастом 1,88-1,84 млрд. лет,
- внутриплитных гранитоидов и кислых вулканитов возрастом 1,76-1,71 млрд. лет, отражающих обстановку растяжения, которая не привели к расколу континента.



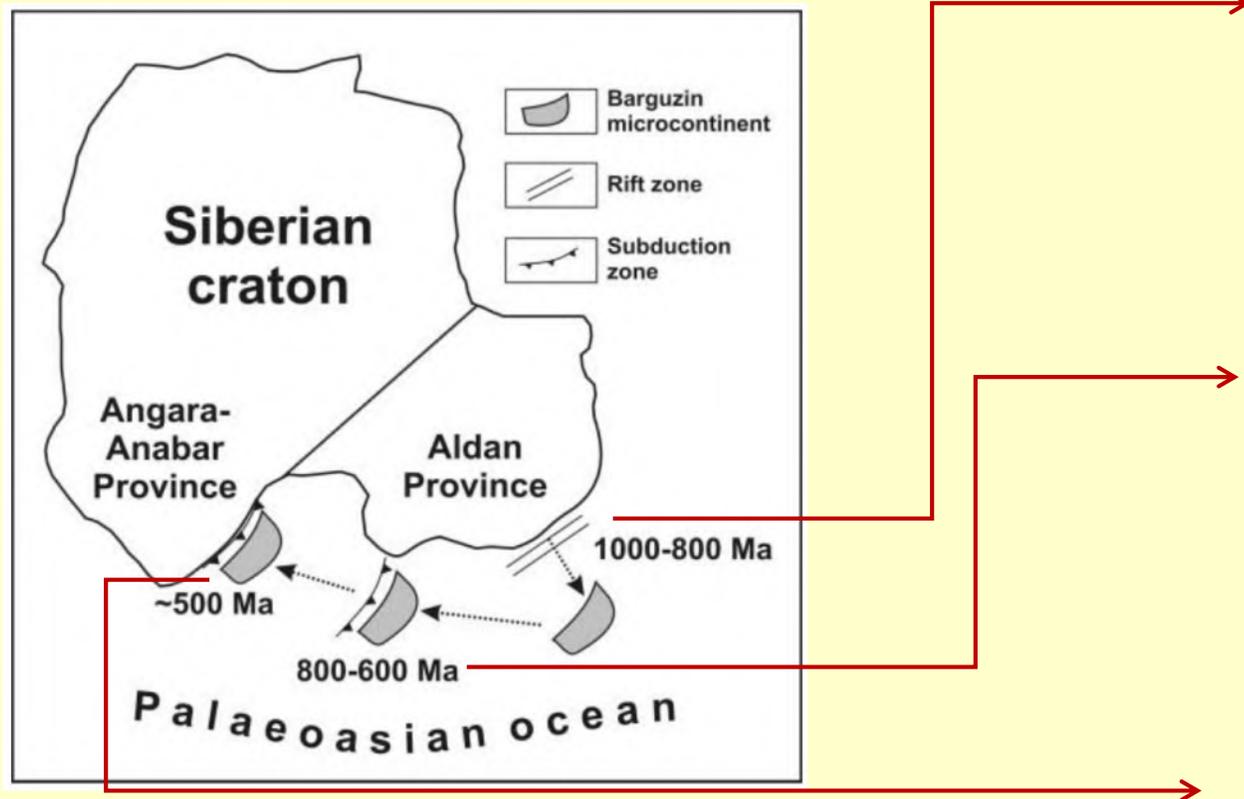
Модель реконструкции суперконтинента Колумбия на временной рубеж ~1.85 млрд лет [Hou et al., 2008]



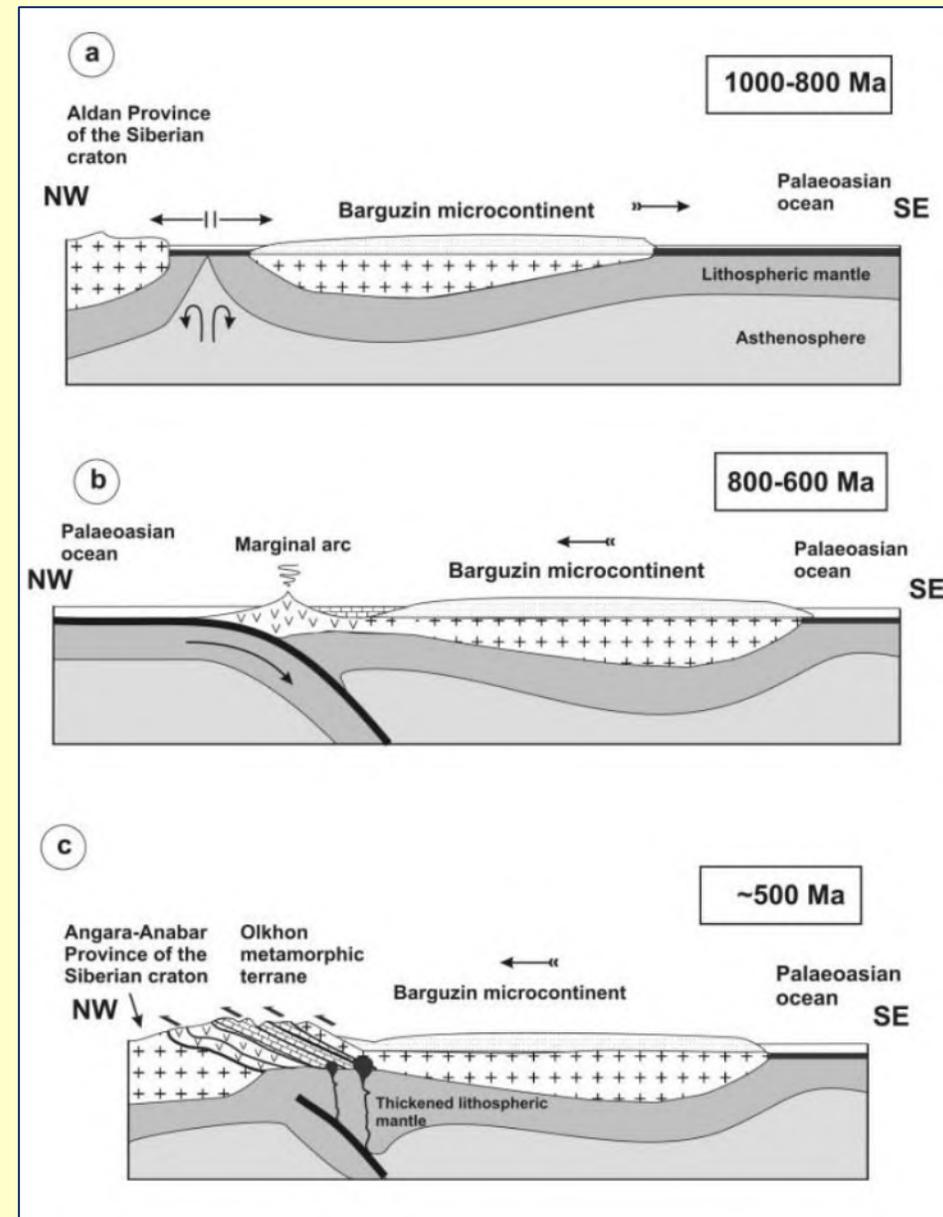
Потом были суперконтинент Родиния:

- возник около 1,1 миллиарда лет назад;
- распался ~750 миллионов лет назад.

В результате образовался Палеоазиатский океан, древний обширный бассейн с океанической земной корой, располагавшийся в центре современной Азии (1000–250 млн. лет назад).



До Байкальского рифта (~1000-500 млн. лет назад)

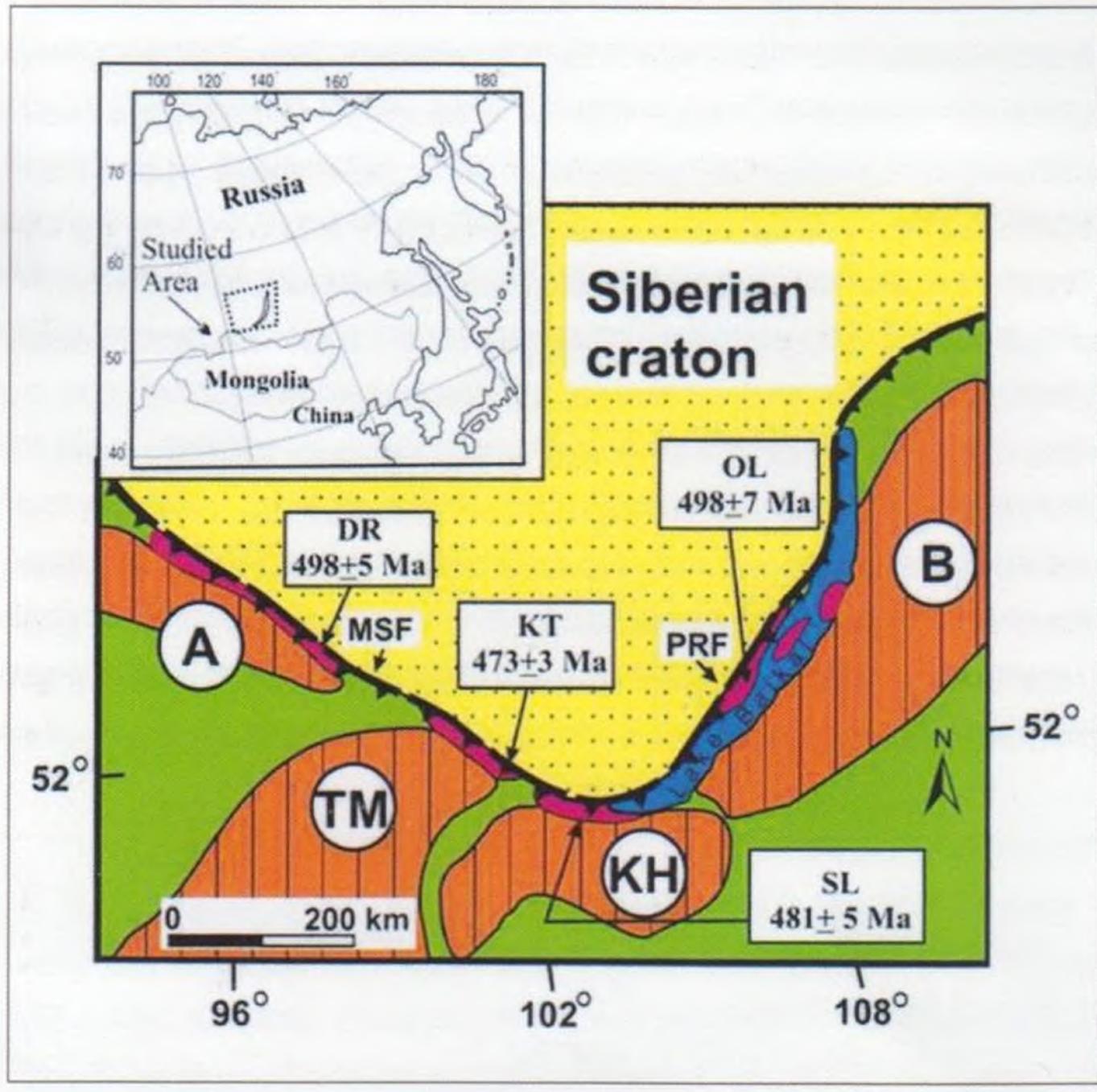


Эволюция Ольхонского метаморфического блока как фрагмента активной окраины Баргузинского микроконтинента

[Gladkochub et al., 2008]

До Байкальского рифта
(~500 млн. лет назад)

Раннепалеозойский Прибайкальский коллизонный пояс [Донская и др., 2000]



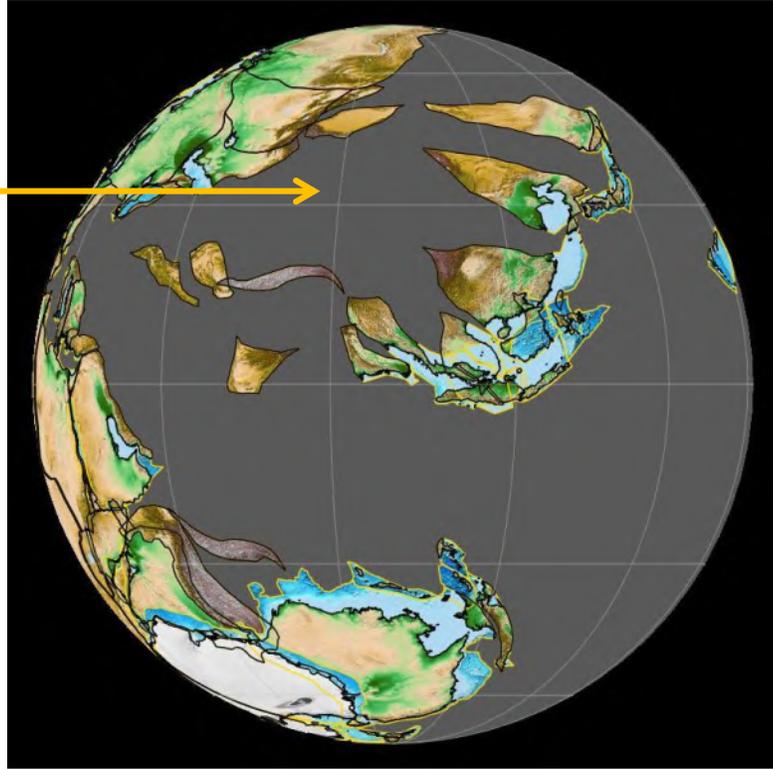
Причленение террейнов и микроконтинентов (Баргузинского, Ольхонского, Слюдянского, Китойкинского, Дербинского и др.) происходило вдоль всей южной окраины Сибирского кратона на фоне частичного закрытия Палеоазиатского океана. Это привело к формированию по периферии его южного фланга (протяженностью > 1000 км) Прибайкальского коллизонного пояса

Террейн — это ограниченное разломами геологическое тело региональной протяженности.

А БАЙКАЛА ВСЕ ЕЩЕ НЕ БЫЛО.....

ИСТОРИЯ ПРОДОЛЖАЕТСЯ.....

В результате эволюции Палеоазиатского океана выделился самостоятельный **Монголо-Охотский океан** (в среднем карбоне). Возраст океана — 325—178 млн лет.



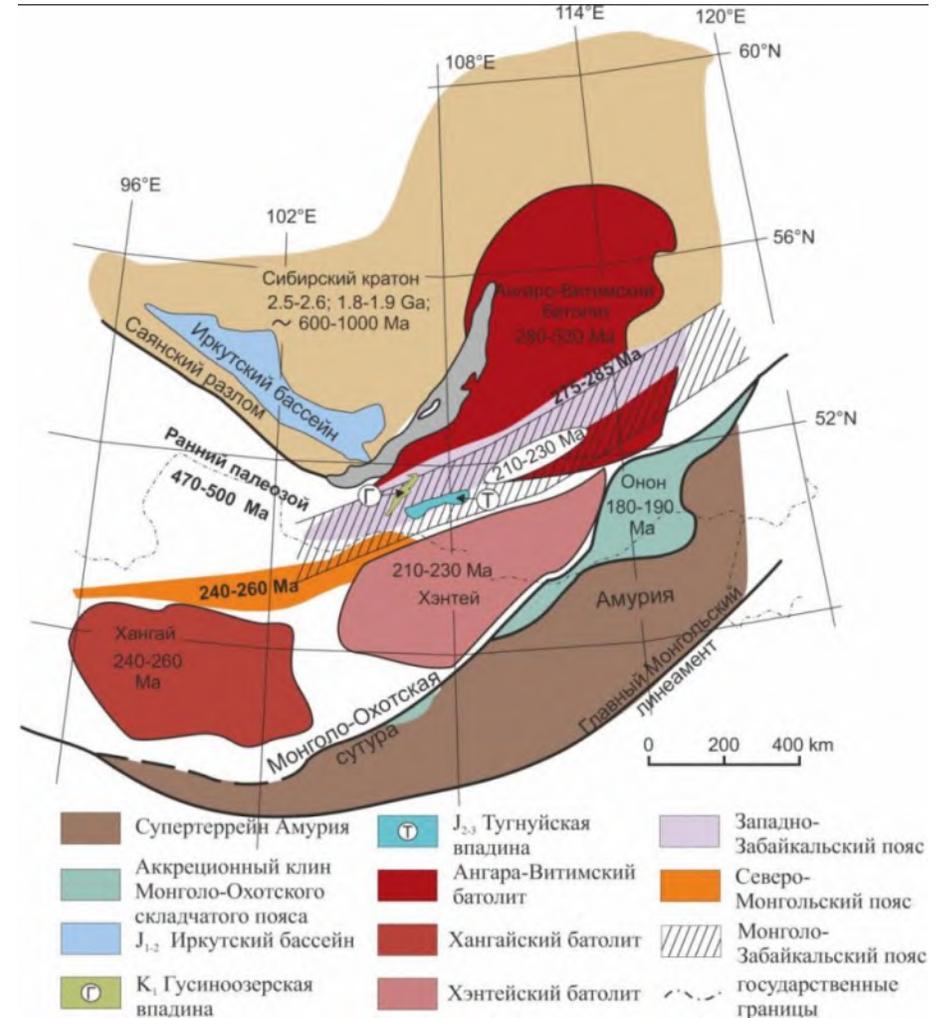
[Amante, Eakins, 2009]

До Байкальского рифта (500 - 180 млн. лет назад)

Батолит — крупный интрузивный массив, имеющий преимущественно секущие контакты и площадь более 100 км².

Плутонические массивы образуются при застывании магмы в верхних слоях земной коры

Позднепалеозойские - раннемезозойские гранитоидные батолиты и вулканоплутонические пояса Забайкалья и Северной Монголии



[Donskaya et al., 2013; Demonterova et al., 2017; Zorin, 1999; Parfenov et al., 2001; Yarmolyuk et al., 2002; Аржанникова, 2021].

Этапы позднемезозойской морфоструктурной эволюции Прибайкалья и Забайкалья:

До Байкальского рифта (178 - 116 млн. лет назад)

А - формирование Иркутского прогиба;

В - закрытие Монголо-Охотского океана в Западном Забайкалье и коллизионное поднятие этой территории;

С - начало растяжения в Западном Забайкалье, ~165 млн лет - начало коллизии в Восточном Забайкалье;

Д - ослабление растяжения в Западном Забайкалье, смена морских осадков континентальными в Восточном Забайкалье;

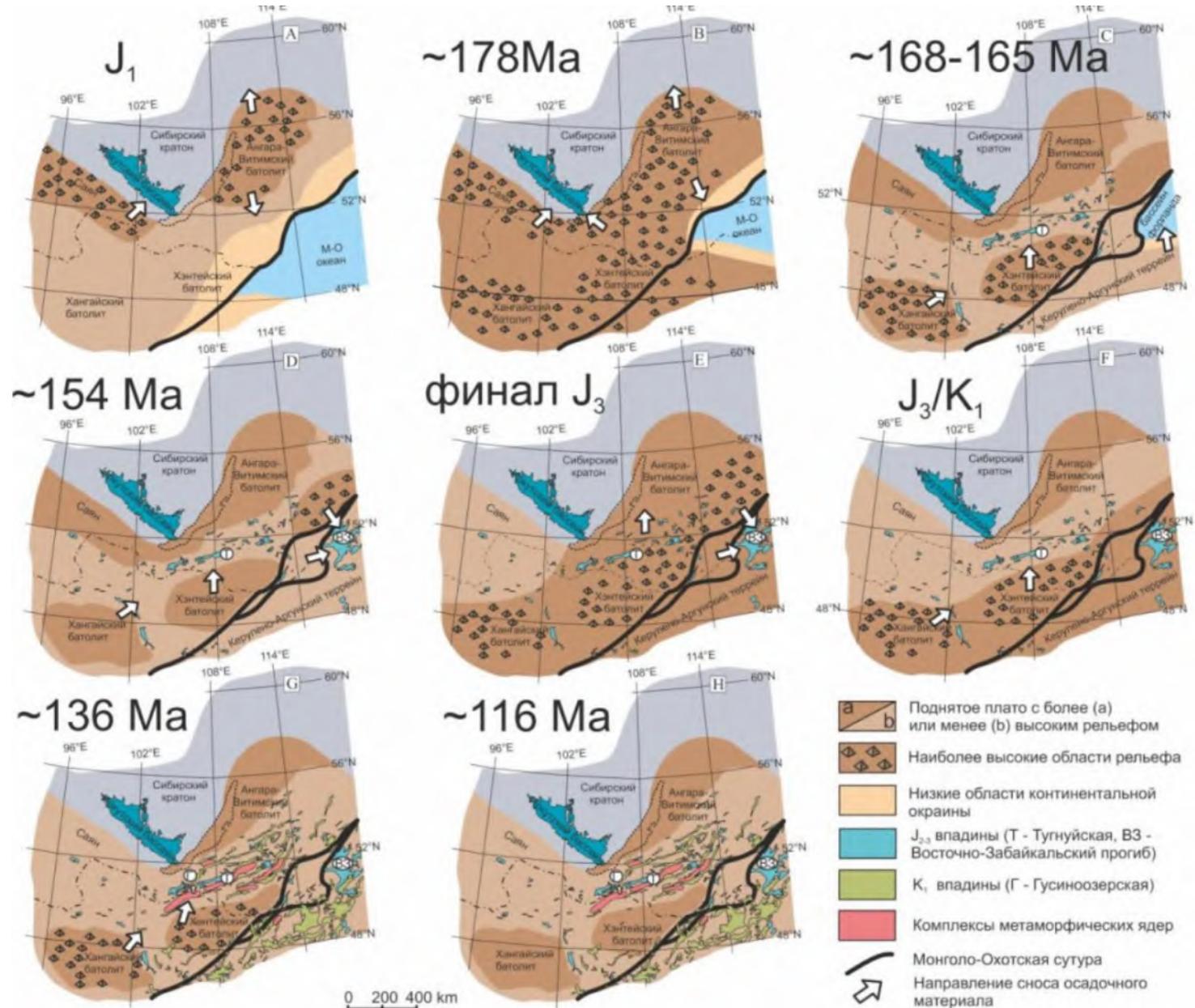
Е - эпизод субширотного сжатия и эрозии в Западном Забайкалье;

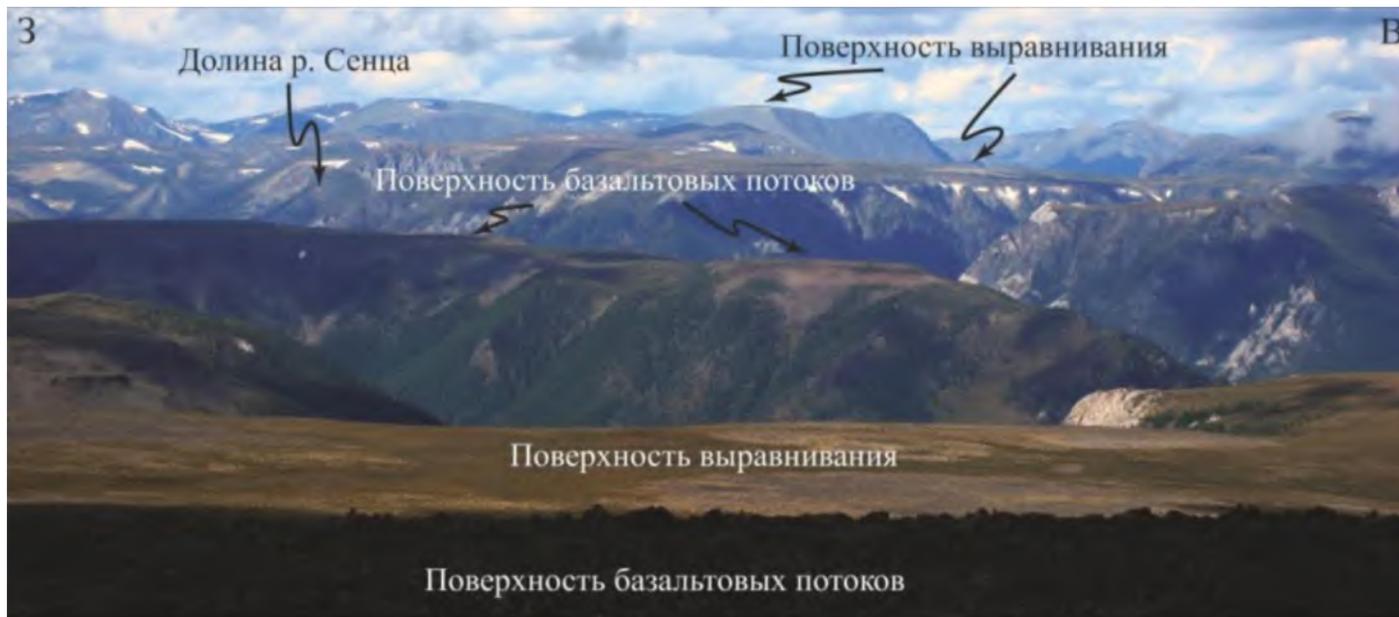
Ф - возобновление растяжения в Западном Забайкалье;

Г - начало формирования меловых впадин Забайкалья, начало формирования комплексов метаморфической ядер;

Н - ослабление растяжения и выравнивание рельефа.

[Аржанникова, 2021]





Вершинная поверхность Окинского плоскогорья

[Jolivet et al., 2017].

Образование пенеплена в районе Окинского плоскогорья приходится на конец юры – начало мела (140 –150 млн лет).

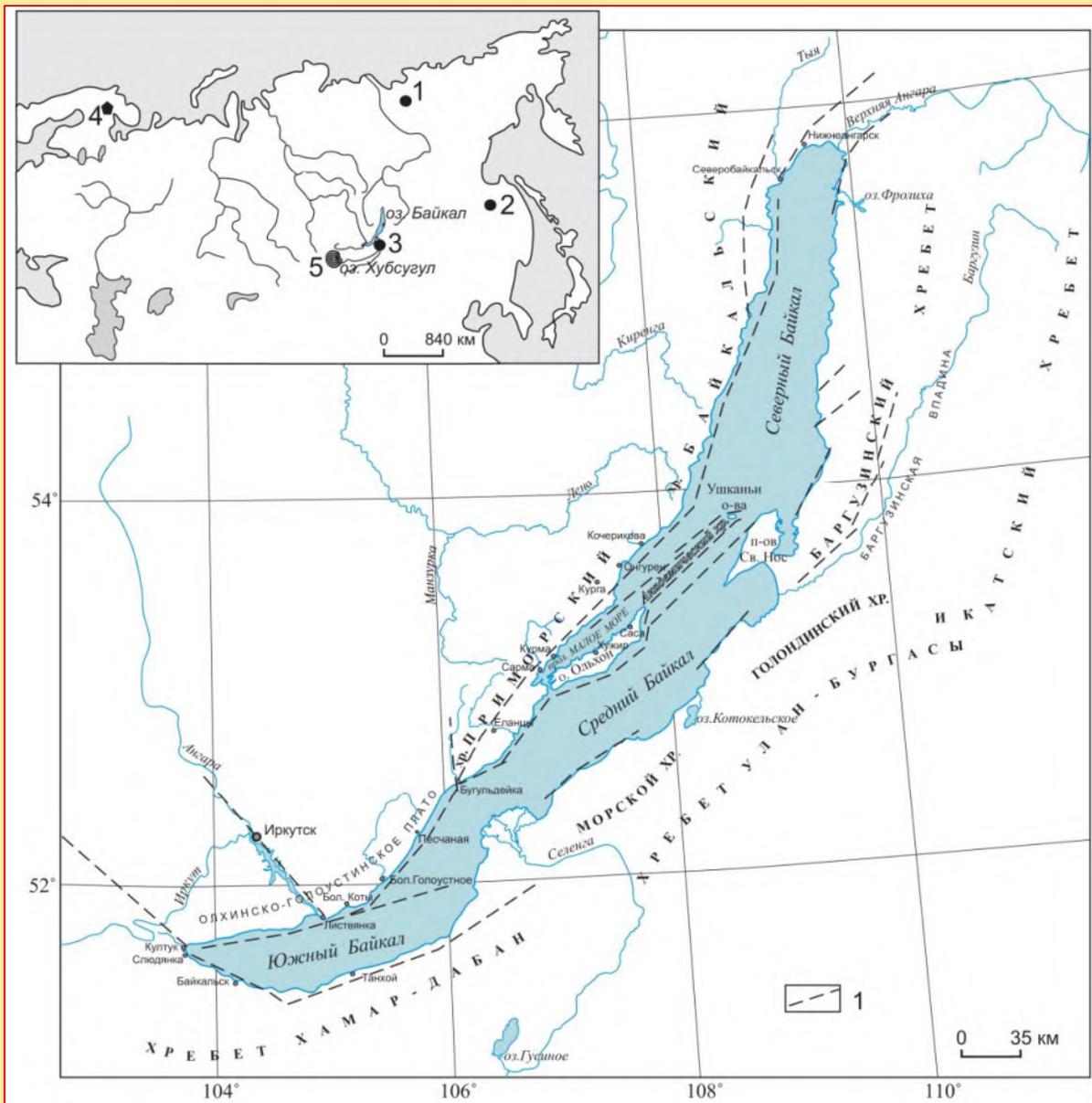


Примеры **поверхностей выравнивания** — выровненных поверхностей в горах и на равнинах различного генезиса. Поверхности выравнивания заканчивают развитие рельефа в заключительных стадиях геоморфологического цикла, который может быть полным, а может и прерываться.

Олхинское плато (реликты пенеплена)

[<https://1baikal.ru/puteshestviya/kamennyie-soldaty-i-olxinskogo-plato>]

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней

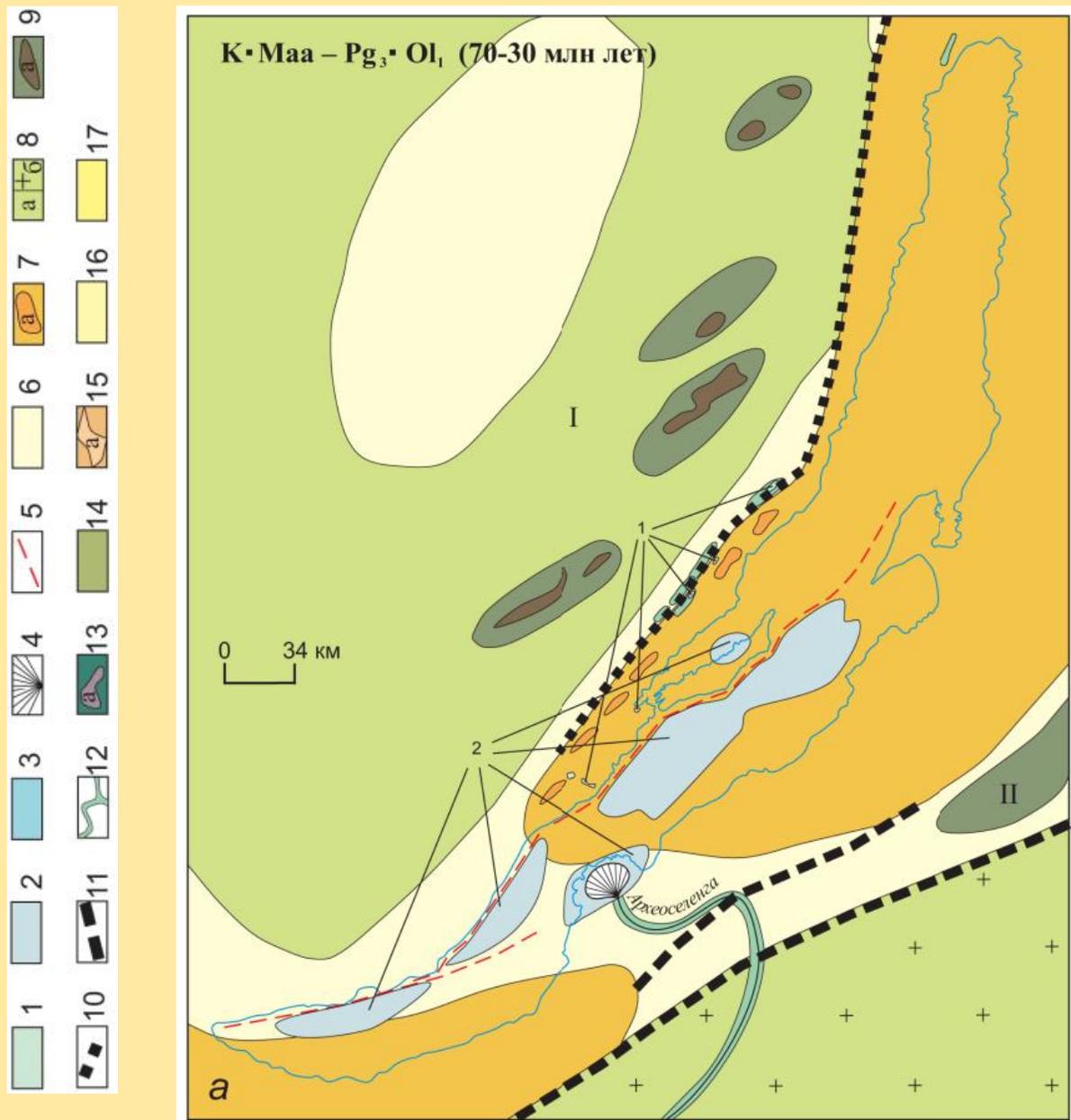


Геологическая история Байкальского рифта включает три крупных этапа [Мац, Ефимова, 2011], что согласуется с трехчленным строением донной толщи [Хатчинсон и др., 1993; Зоненшайн и др., 1995]:

- 1) Крипторифтовый этап (70–30 млн лет);
- 2) Раннеорогенный этап, включающий два подэтапа (30.0–3.5 млн лет);
- 3) Позднеорогенный, включающий три подэтапа (3.5 млн лет – современность).

«Критерием возраста Байкальского рифта служит возраст осадочных тел, коррелируемых его морфоструктурному комплексу с учетом закономерностей синрифтовой седиментации. Возраст осадков Байкальского рифта, в том числе осадков преемственно развивавшихся озерных бассейнов в БВ, исчисляется с позднего мела, т. е. порядка 70 млн лет тому назад» [Мац, 2011].

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Крипторифтовый этап (70–30 млн лет – поздний мел-ранний олигоцен) по [Мац, Ефимова, 2011 и др.]:

Климат – субтропический или влажный тропический (по составу отложений и палеоботанике);

Господствовали процессы пенепленизации (выравнивания рельефа), развивалась мощная линейно-площадная кора выветривания возрастом 59 ± 9 млн. лет (палеоцен) и 40-36 млн лет (эоцен);

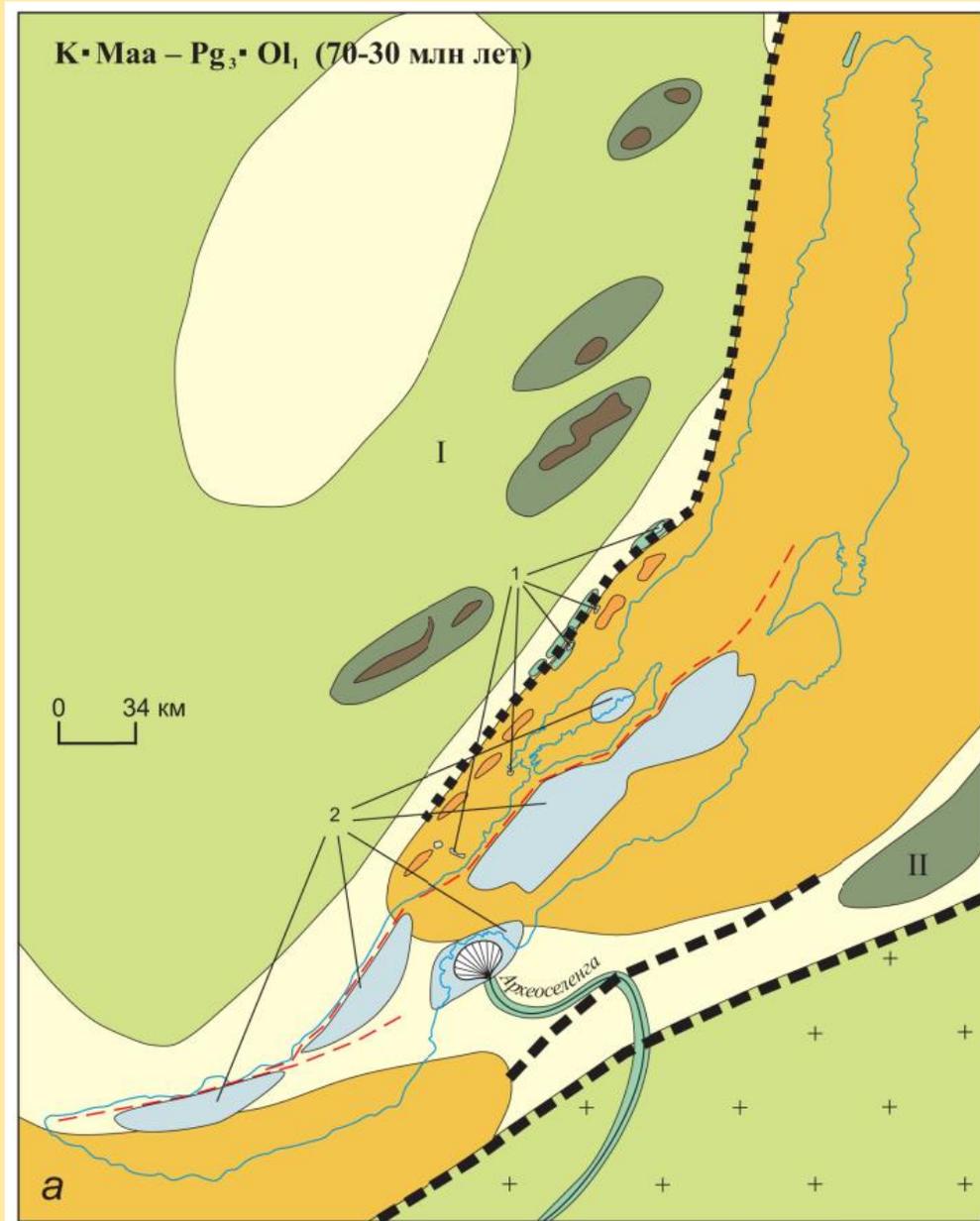
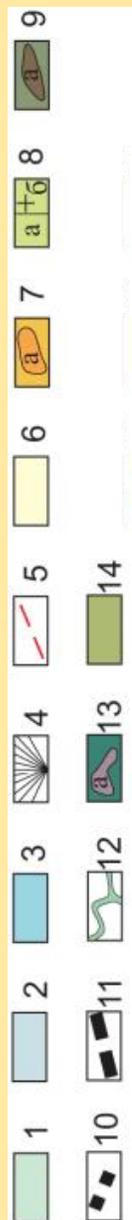
Ослабленная интенсивность вертикальных тектонических движений и общее господство напряжений растяжения;

В контурах Южнобайкальской впадины (Южный и Средний Байкал) были развиты сравнительно крупные озерные бассейны; Северобайкальская впадина – суходольная;

Структура – односторонний грабен, ограниченный с запада листрическим (пологим) сбросом;

Возможные причины начала раскрытия БР – процессы на Тихоокеанской окраине Азии [Рассказов и др., 2007;] или закрытие Монголо-Охотского океана и последующий распад коллизионного орогена [Jolivet et al., 2009].

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Крипторифтовый этап (70–30 млн лет – поздний мел-ранний олигоцен)

1 – озеро глубиной первые метры, иногда (местами) переходящее в торфяное болото; 2–3 – озера глубиной: 2 – до десятков метров, 3 – до первых сотен метров; 4 – дельта; 5 – основной разлом; 6 – денудационное плато, низкое; 7 – денудационное плато, слабо приподнятое (а – останцовые возвышенности); 8 – денудационная равнина, низменная (а – пластовая, б – цокольная); 9 – денудационно-аккумулятивная равнина зарождающегося Предбайкальского перирифтового прогиба (I), образованная озерными, озерноаллювиальными, озерноболотными депрессиями (а – частная депрессия); 10 – пограничная прихребтовая депрессия; 11 – эскарп тектогенного уступа; 12 – речная долина; 13 – денудационно-аккумулятивная низменная равнина Предбайкальского перирифтового прогиба (I), (а – частная депрессия); 14 – Селенгино-Витимский прогиб (II).

[Мац, Ефимова, 2011]

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней

Раннеорогенный этап (30–10 млн лет – ранний олигоцен – верхний миоцен)

Климат – в начале похолодание;

Усиление активности вертикальных тектонических движений;

Незначительное поднятие окружающих пространств и углубление озерных бассейнов до 400-500 м;

Эрозионно-тектоническое расчленение исходного поздне мелового-палеогенового пенеуплена;

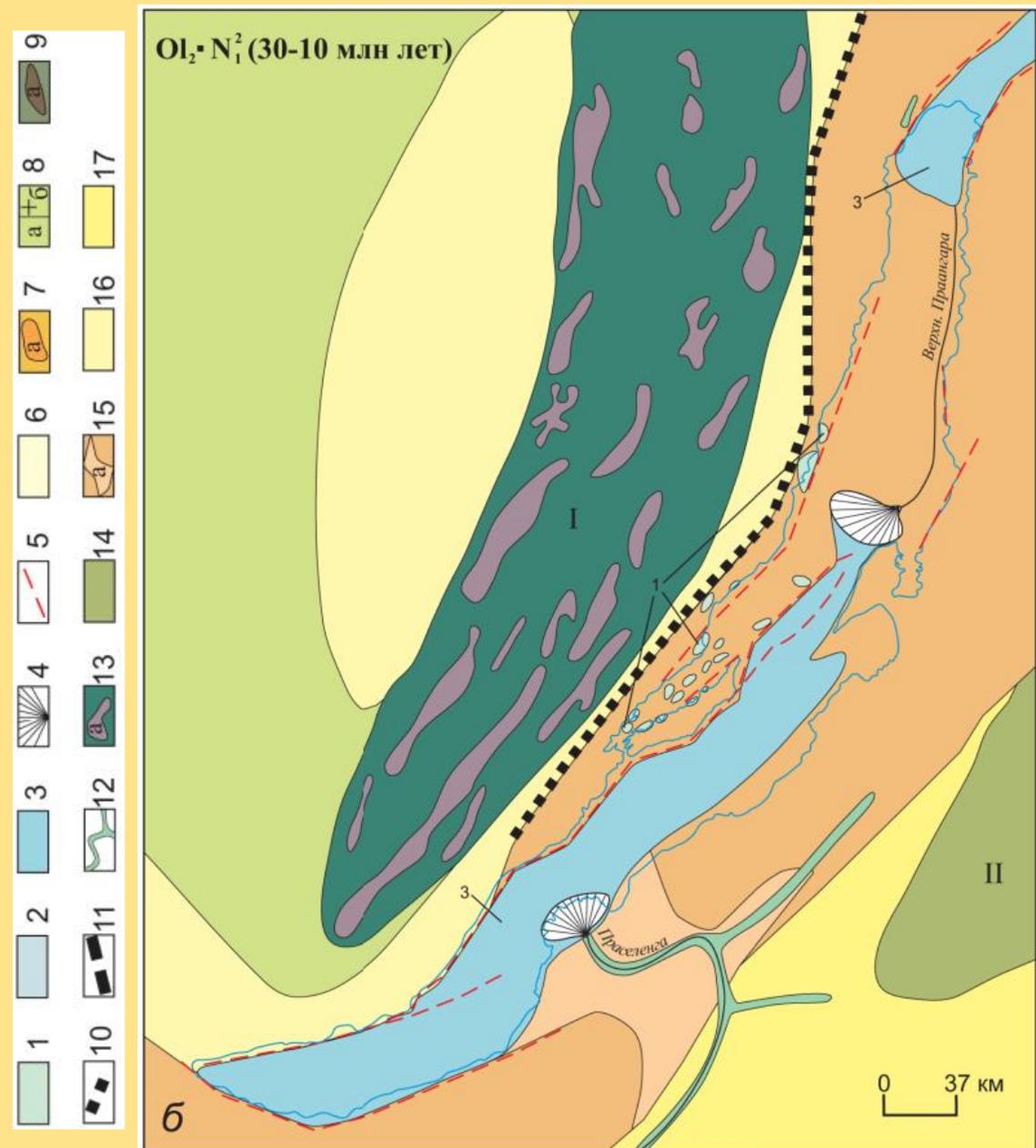
Объединение Южного и Среднего Байкала;

Накопление углисто-глинисто-алеврито-песчаных полимиктовых отложений (танхойская свита), валунно-галечно-песчаных отложений конусов выноса (осиновская свита).

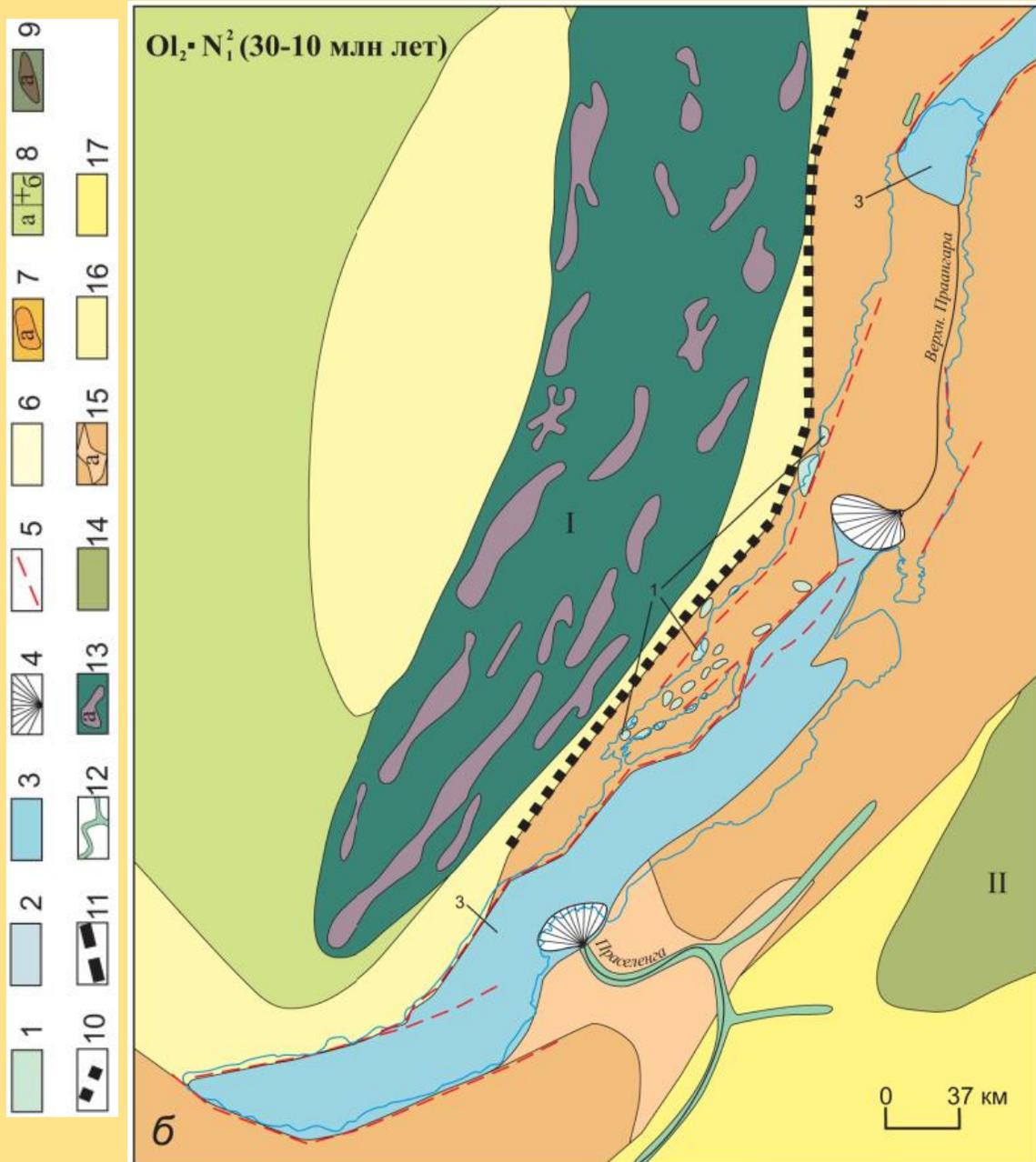
Начало зоогеографической изоляции Байкальской впадины и формирование эндемичного комплекса гидробионтов - организмов, в ходе эволюции приспособленных к обитанию в водной среде;

На месте Малого моря - озерно-болотные бессточные высокоминерализованные тепловодные бассейны;

Причины усиления растяжения – отклик на столкновение Индии и Евразии [Мац, Ефимова, 2011]



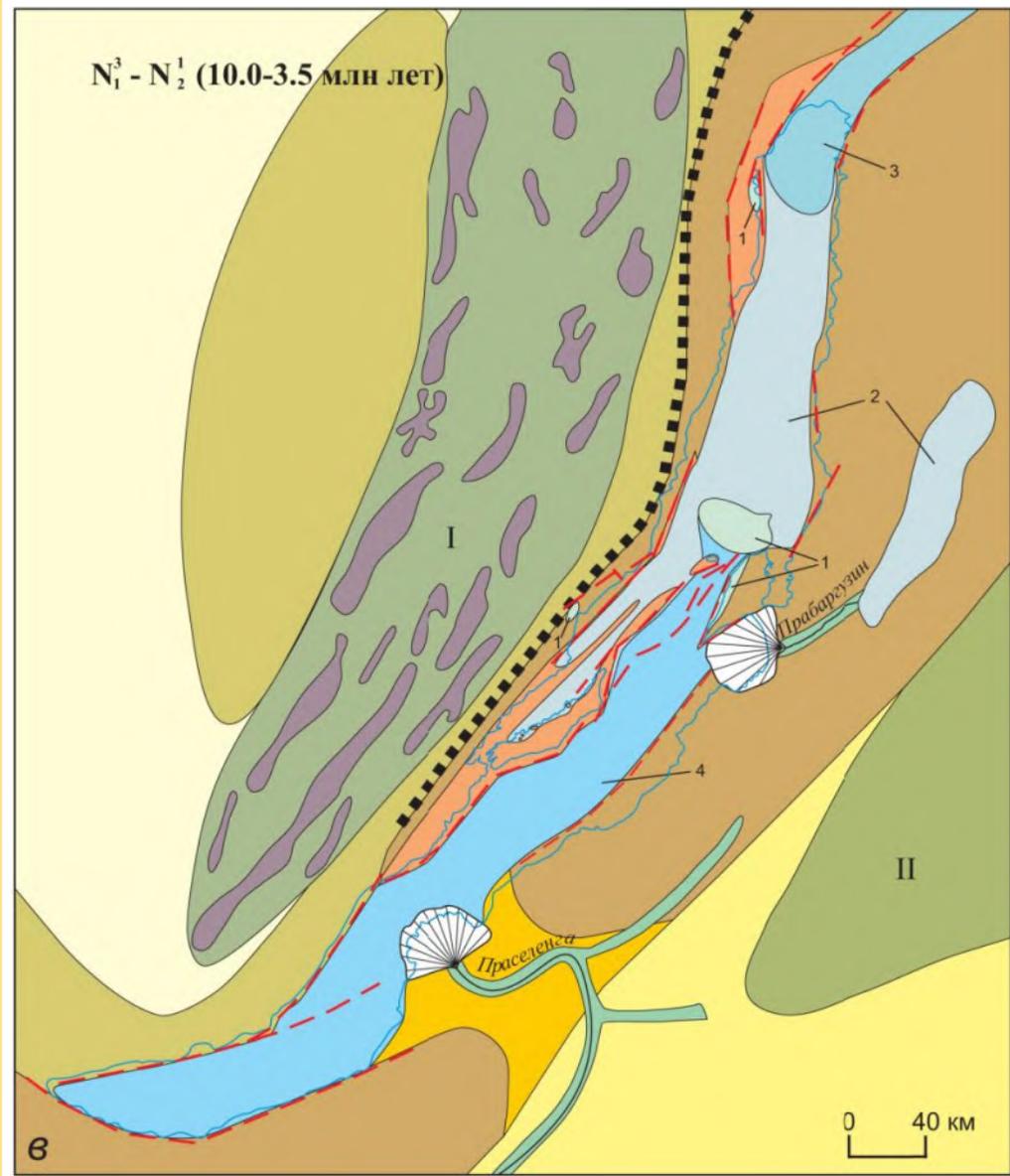
Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Раннеорогенный этап (30–10 млн лет – ранний олигоцен – верхний миоцен)

1 – озеро глубиной первые метры, иногда (местами) переходящее в торфяное болото; 2–3 – озера глубиной: 2 – до десятков метров, 3 – до первых сотен метров; 4 – дельта; 5 – основной разлом; 6 – денудационное плато, низкое; 7 – денудационное плато, слабо приподнятое (а – останцовые возвышенности); 8 – денудационная равнина, низменная (а – пластовая, б – цокольная); 9 – денудационно-аккумулятивная равнина зарождающегося Предбайкальского перирифтового прогиба (I), образованная озерными, озерно-аллювиальными, озерно-болотными депрессиями (а – частная депрессия); 10 – пограничная прихребтовая депрессия; 11 – эскарп тектогенного уступа; 12 – речная долина; 13 – денудационно-аккумулятивная низменная равнина Предбайкальского перирифтового прогиба (I), (а – частная депрессия); 14 – Селенгино-Витимский прогиб (II); 15 – возвышенное денудационное плато (а – низкая седловина); 16 – денудационное плато и щитовидное поднятие, возвышенное, слаборасчлененное; 17 – денудационное низкогорье с формирующимися эрозионными врезами и усиливающимся общим эрозионным расчленением.

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Раннеорогенный этап (10–3,5 млн лет – верхний миоцен – верхний плиоцен)

В Академическом поднятии образовался пролив, через который вода из Южнобайкальской впадины устремилась в Северобайкальскую (формировалось Сасинское протоозеро);

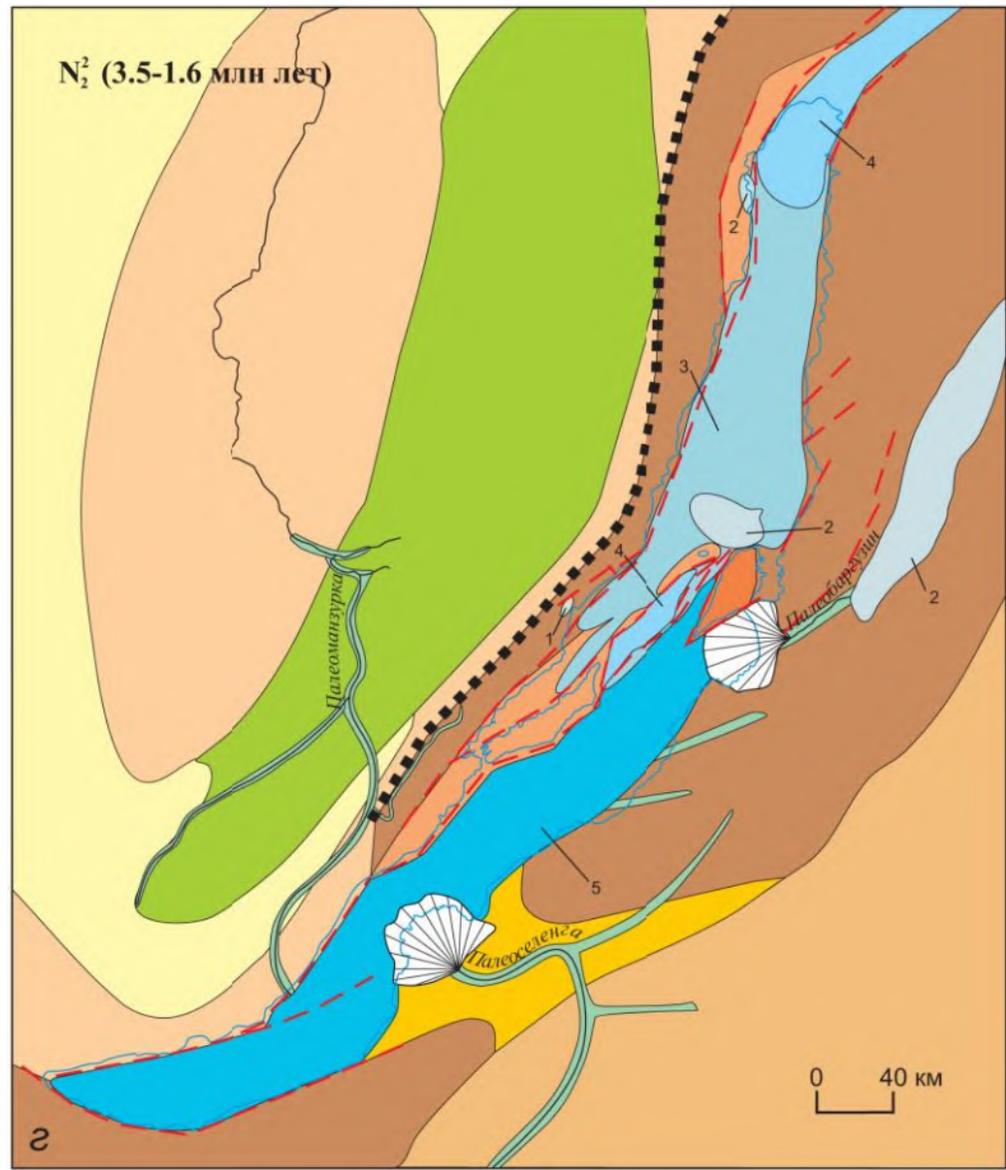
Климат – влажный, субтропический (подобный Средиземноморью);

Сухие фазы сменялись фазами увлажнения.

На смену лесным ландшафтам ранней половины этапа пришли ландшафты степей, полупустынь, саванн.

1–5 - озеро глубиной: 1- первые метры, 2 – до десятков метров, 3 – до первых сотен метров, 4 – до многих сотен метров, 5 – до 1000 м; 6 – дельта; 7 – основной разлом; 8 – денудационная равнина, возвышенная; 9 – денудационное низкогорье с формирующимися эрозионными врезами; 10 – денудационное плато и щитовидное поднятие, возвышенное, со средней степенью эрозионного расчленения; 11 – наклонное плато; 12 – пограничная прихребтовая депрессия; 13 – средневысотное денудационное плато; 14 – речная долина; 15 – денудационно-аккумулятивная низменная равнина Предбайкальского перирифтового прогиба (I), образованная озерными, озерно-болотными депрессиями с накоплением торфяников, разделенными низкими водоразделами, с реликтами позднемелового – эоценового пенеплена и коры выветривания [Мац, Ефимова, 2011].

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Позднеорогенный (3,5-1,6 млн лет – поздний плиоцен – ранний плейстоцен)

Кардинально изменились тектоника, климат и все производные от них абиотические компоненты;

Особенно крупные преобразования претерпел наземный и подводный рельеф Байкальского рифта;

Климат менялся от сухого субтропического в начале этапа к умеренному и нивальному ледниковому в финале;

1.75–1.45 млн лет – похолодание по данным глубоководного бурения [Kuzmin et al., 2001], которое привело к развитию оледенения в горах Прибайкалья;

В конце предшествующего и начале данного этапа проявилось сжатие, что обусловило смятие верхнеплиоценовых отложений в пологие складки и несогласное залегание на них более молодых отложений.

Росли горы, уничтожался древний рельеф, формировались его новые, перестраивалась речная сеть;

Сток байкальских вод осуществлялся по системе р. Праманзурка (районы рек Голоустная, Бугульдейка);

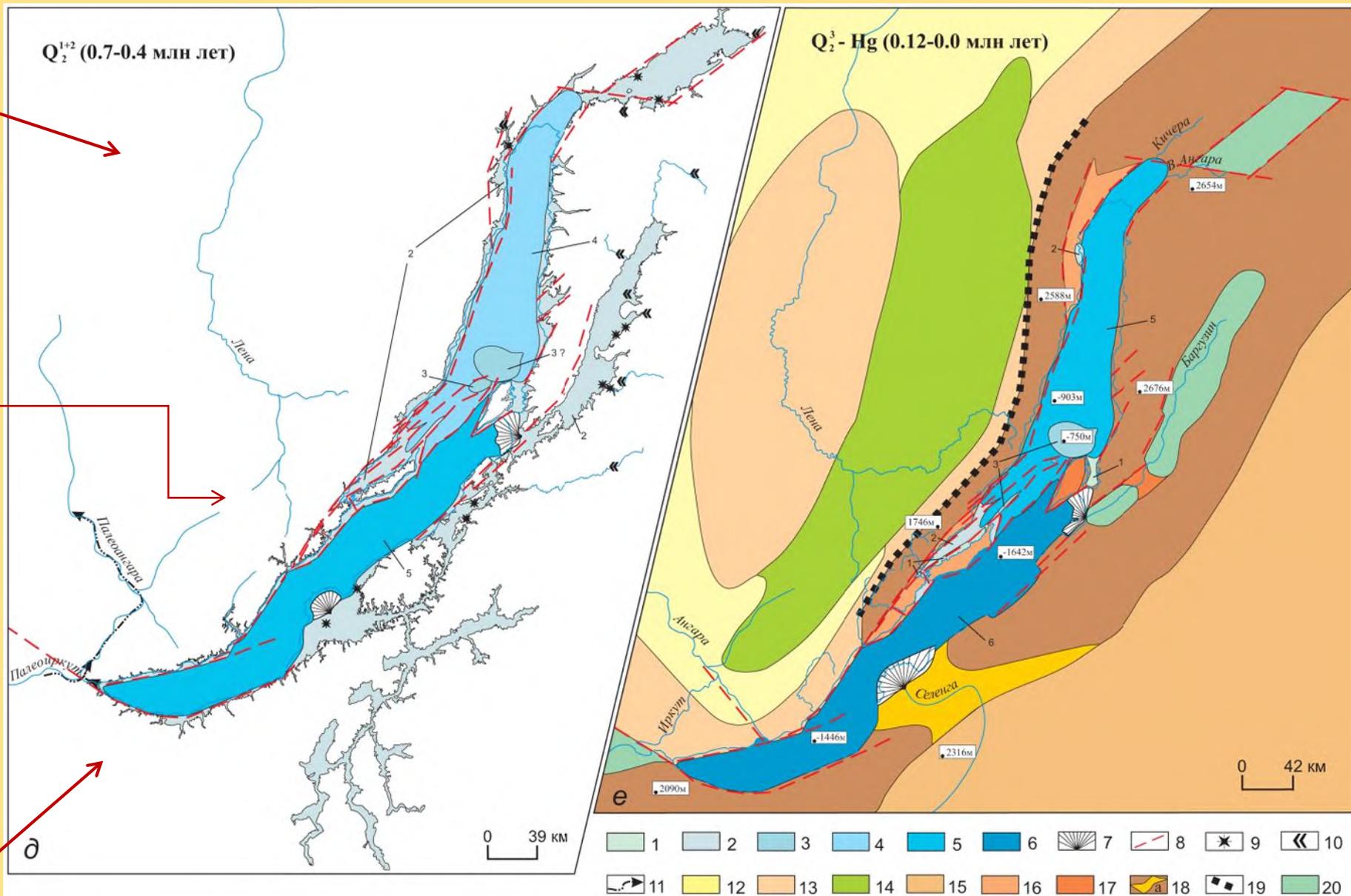
Увеличивалась глубина Байкала;

Накапливались грубообломочные отложения [Мац, Ефимова, 2011].



Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней

Позднеорогенный (0,7-0 млн лет)



Этап высокого стояния уровня Байкала вследствие тектонического подпора, связанного с поднятиями западного плеча рифта

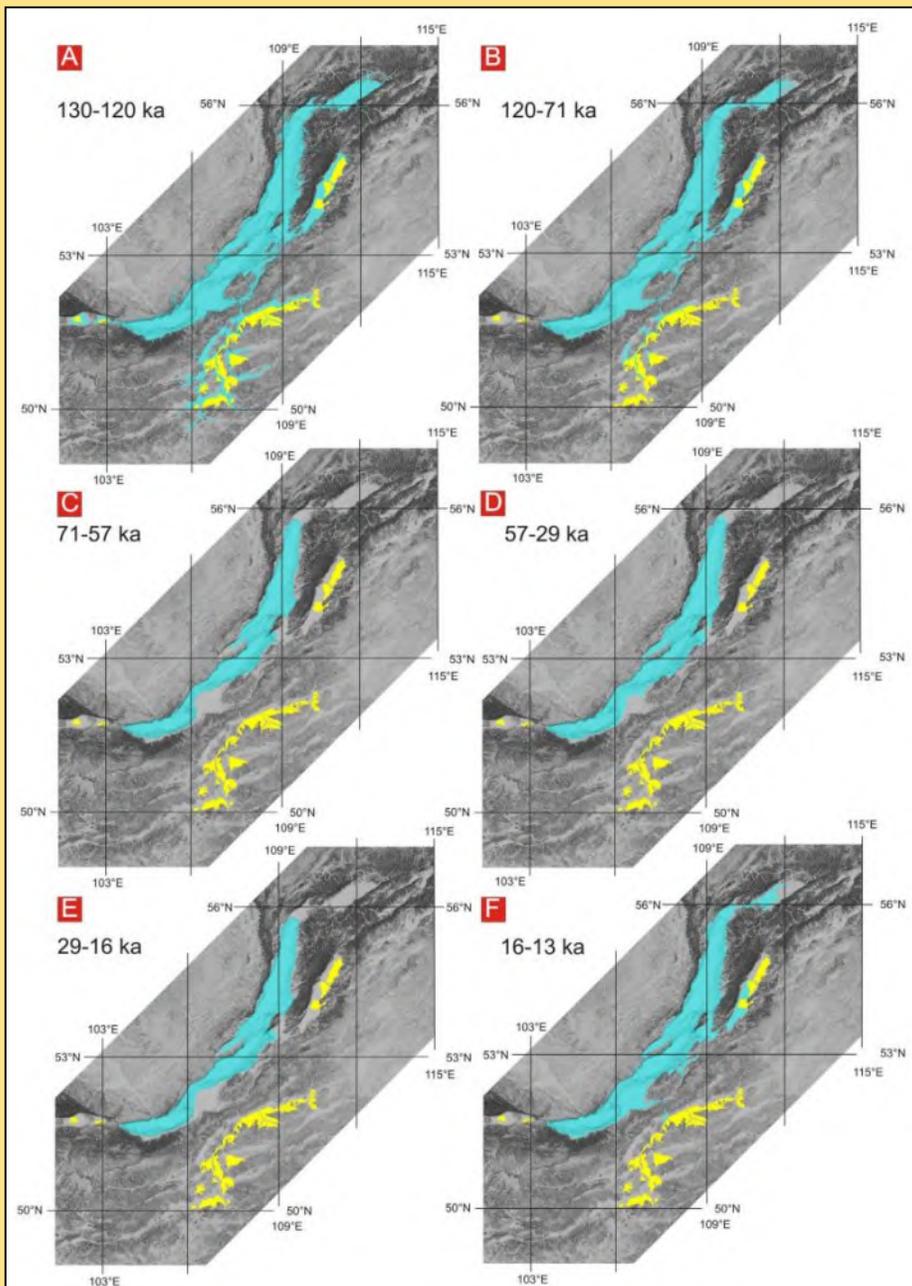
Около 400 тыс. лет назад разорван канал стока байкальских вод в бассейн р. Лены по системе р. Праманзурка [Кононов, Хлыстов, 2017]

Вода Байкала устремилась в Баргузинскую и др. впадины

~0.15–0.12 млн лет тому назад образовались самые глубоководные зоны

[Мац, Ефимова, 2011]

Развитие Байкальского рифта от зарождения до наших дней



Реконструкция позднеплейстоцен-голоценовых уровней воды в озере Байкал (голубой цвет) и песчаных тел, представляющих собой конуса выноса по [Arzhannikov et al., 2018].



Конус выноса - флювиальная форма рельефа, представляющая собой морфологическую структуру, созданную реками. Как правило, конус выноса — скопление валунов, гальки, песка, глины и других материалов, именуемых аллювием. Имеет форму конуса или полуконуса. Располагаются в устьях горных рек, падей, балок, оврагов при выходе их на равнины или на террасы широких долин.

Настоящее и будущее Байкальского рифта

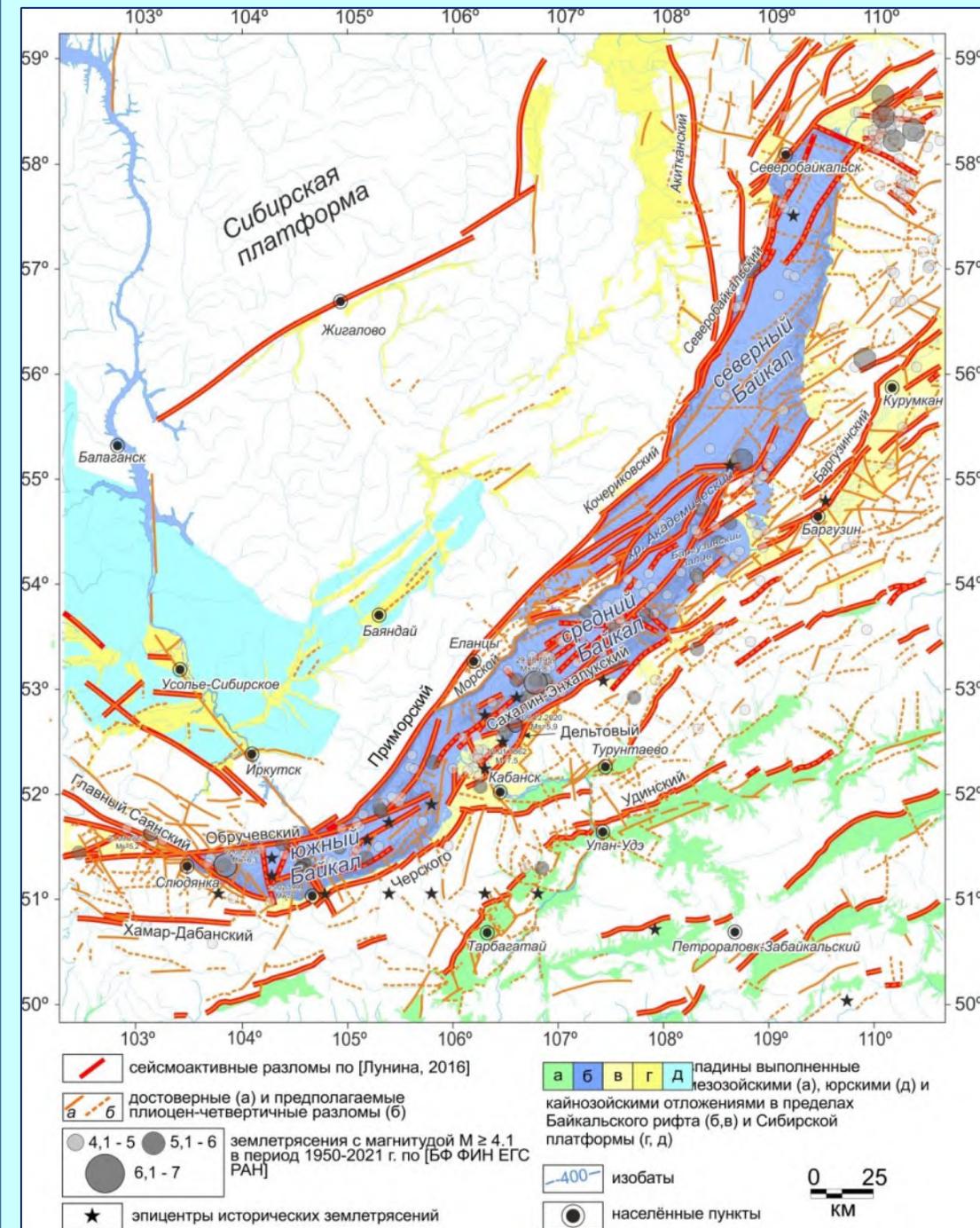
Землетрясения и их
видимые следы



Разломы и сейсмичность Байкальского рифта и прибрежных территорий

← Геопортал «ActiveTectonics», где представлены плиоцен-четвертичные разломы юга Восточной Сибири и сейсмогенные разрывы: <http://activetectonics.ru>

Проявление разлома в рельефе (правобережье р. Сармы)



**Проявление разлома в рельефе
(северо-западный борт Баргузинской впадины северо-восточнее с. Улюн)**



Хорошо видны уступ и сбросовые фасы Саранхурской кулисы Баргузинского разлома



**Проявление разломов в
коренных (скальных)
породах**

Разрывы в четвертичных песчаных отложениях

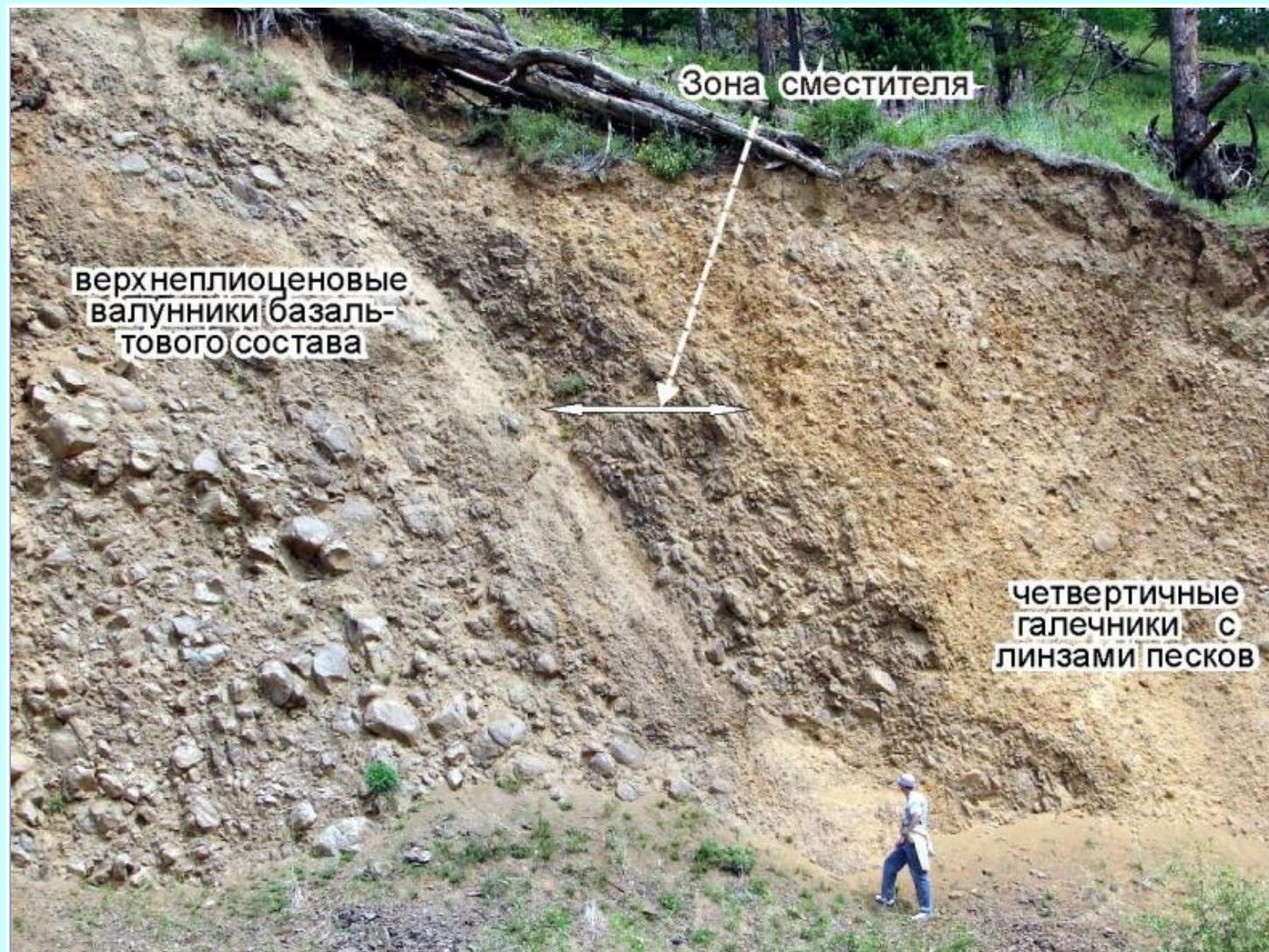
Дельта р. Селенги



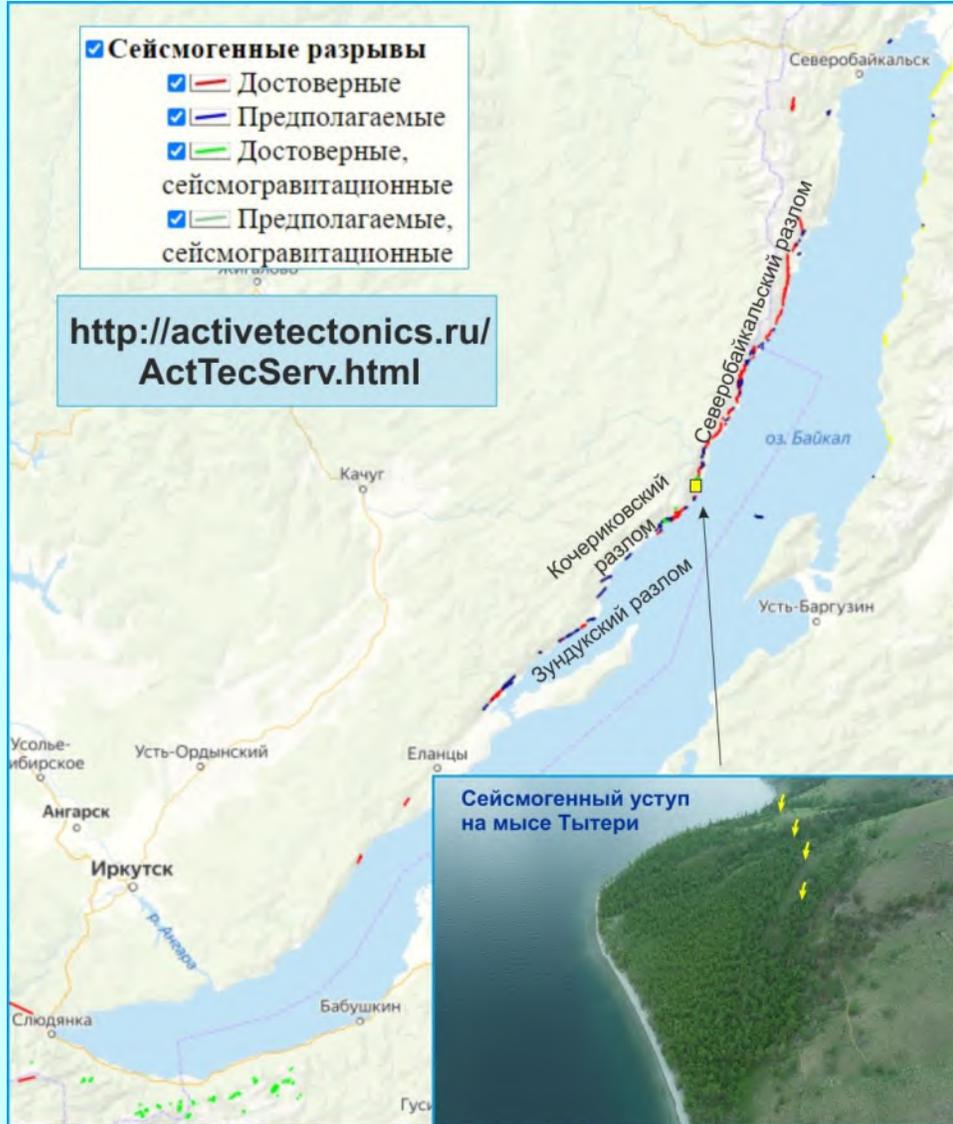
Тункинская впадина



Выход Борьско-Иркутского разлома в Тункинском рифте, представленный тектоническим контактом сбросового характера между верхнеплиоценовыми базальтовыми валунниками и четвертичными мелкогалечными отложениями по зоне дробления и расщеливания мощностью ~5 м (аз. пад. $170-175^\circ \angle 60^\circ$)

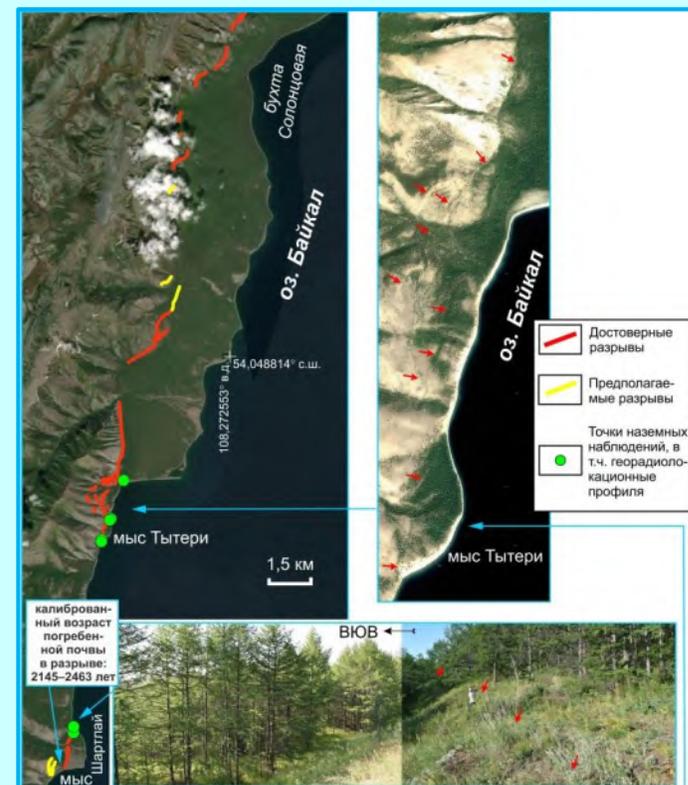


Сейсмогенные разрывы побережий Байкала



<http://activetectonics.ru/ActTecServ.html>

Сейсмогенный уступ на мысе Тытери

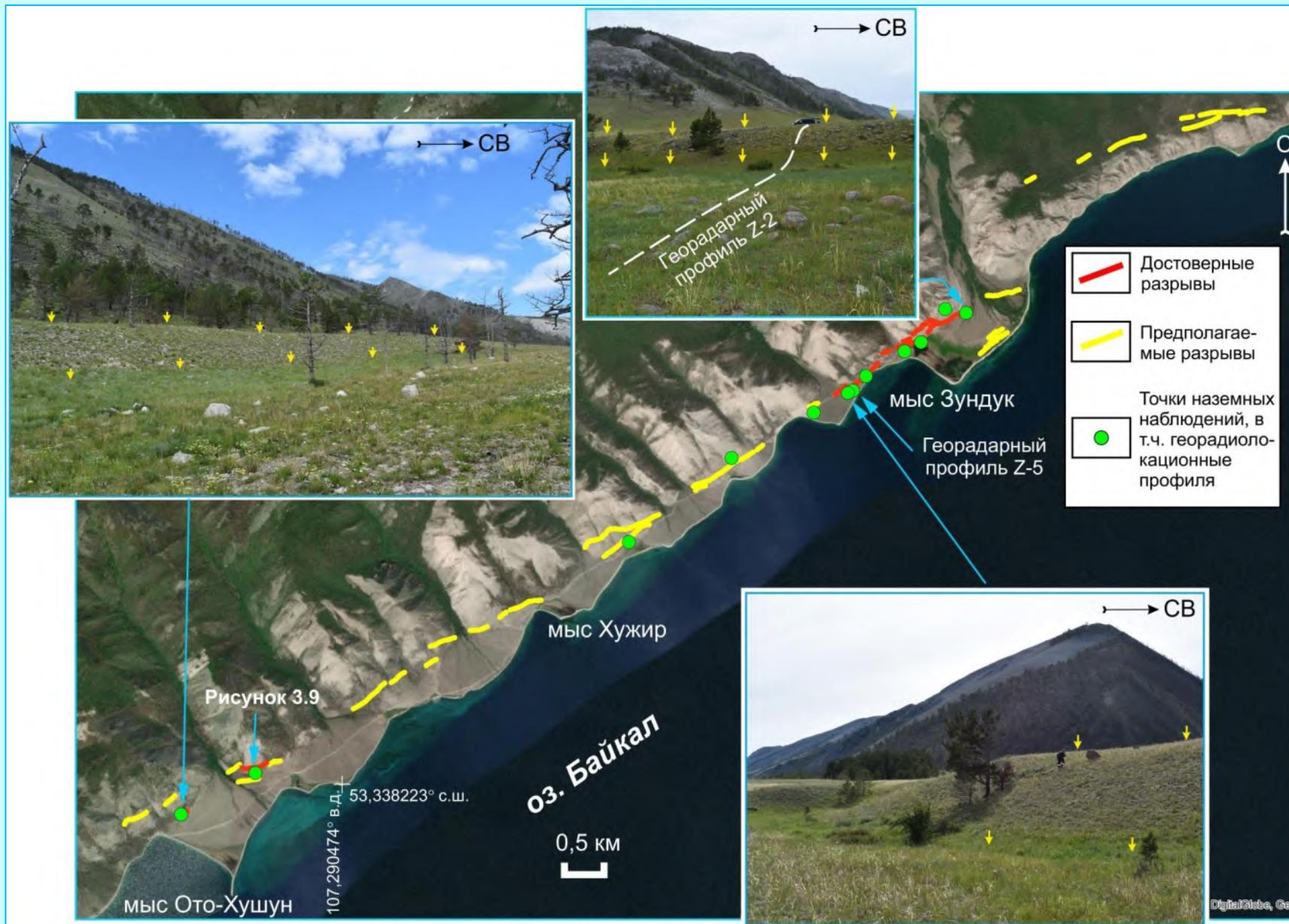


Сейсмогенный разрыв – поверхностное проявление разрывообразования в очаге землетрясения

Сейсмодислокация – любое проявление деформаций, сохраняющееся после землетрясения на поверхности Земли и в доступных для наблюдения приповерхностных слоях

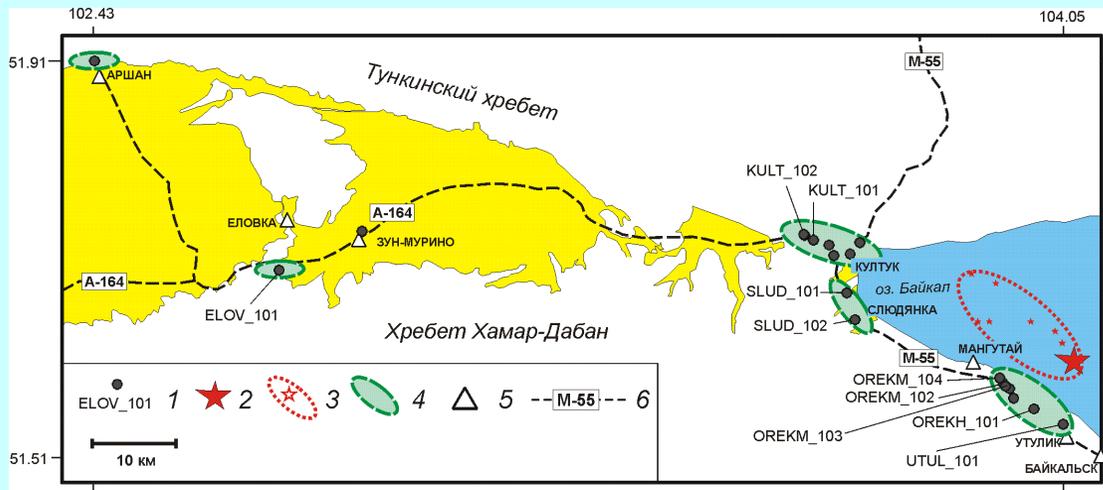


Сейсмогенные разрывы в зоне Зундукского разлома (12–14 тыс. лет назад)



Вторичные косейсмические эффекты в Байкальском рифте: обвалы





Обвалы от Култукского землетрясения 27.08.2008 г.

Район г. Слюдянка



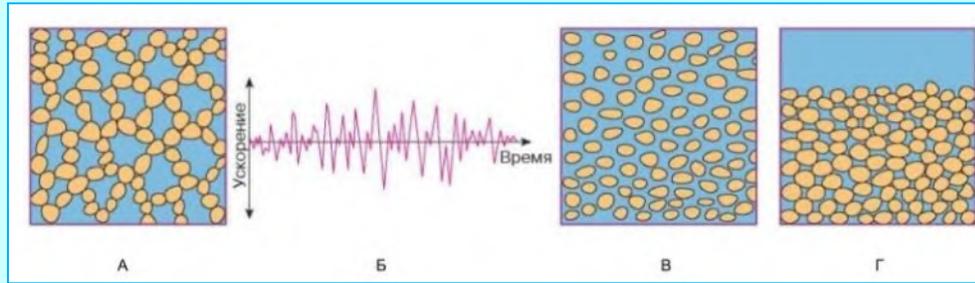
В долине р. Кынгарга, 2009 г.



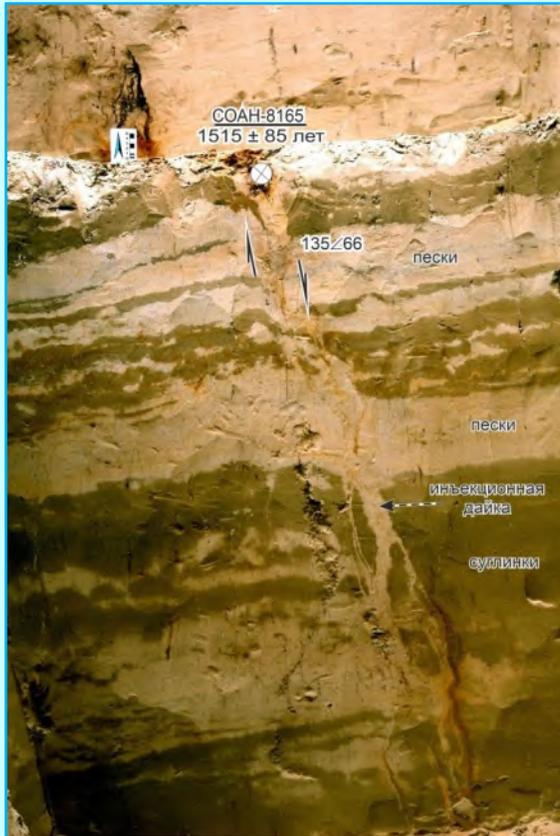
Вторичные косейсмические эффекты в Байкальской рифтовой зоне: разжижение



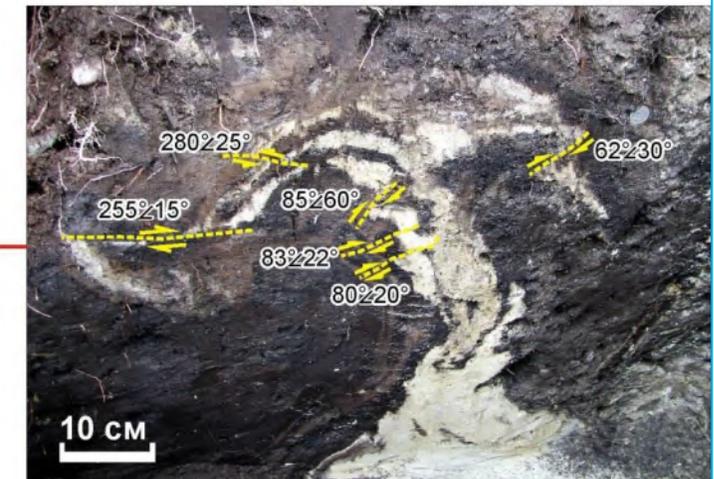
Следы разжижения грунта (Цаганское землетрясение 12.01.1862 г., $M \sim 7,5$)



Сейсмическое разжижение представляет собой переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием сейсмических волн [Вознесенский и др., 2005]



Следы разжижения грунта и просадки (Мондинское землетрясение 04.04.1950 г., $M_w=6,9$)



Вторичные косейсмические эффекты землетрясений в Байкальской рифтовой зоне: трещины

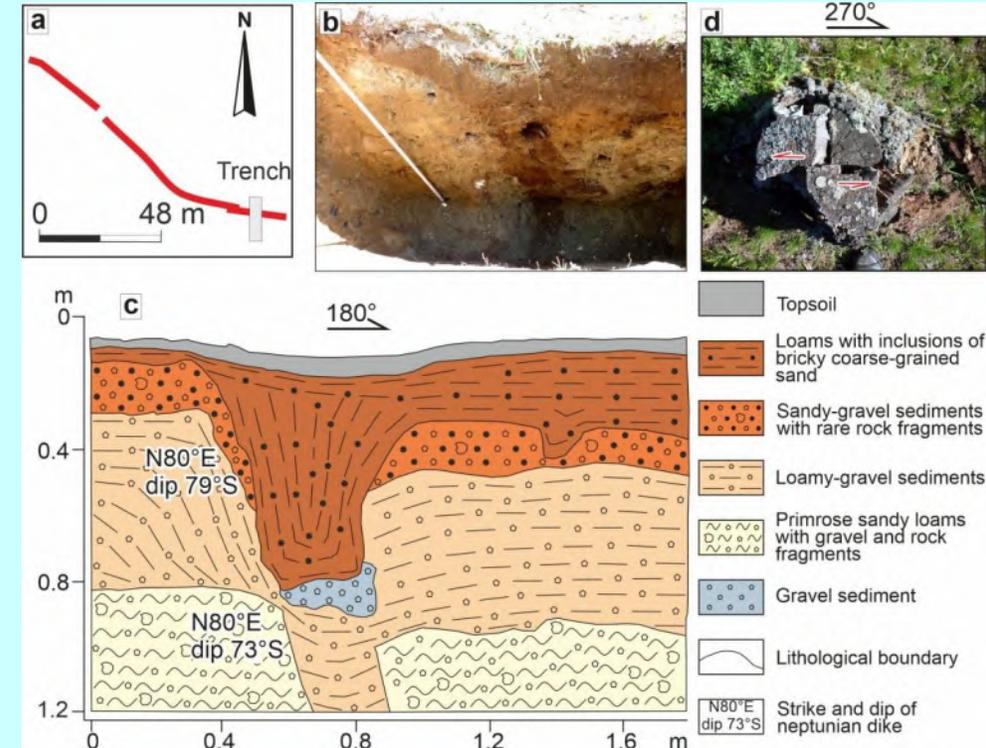
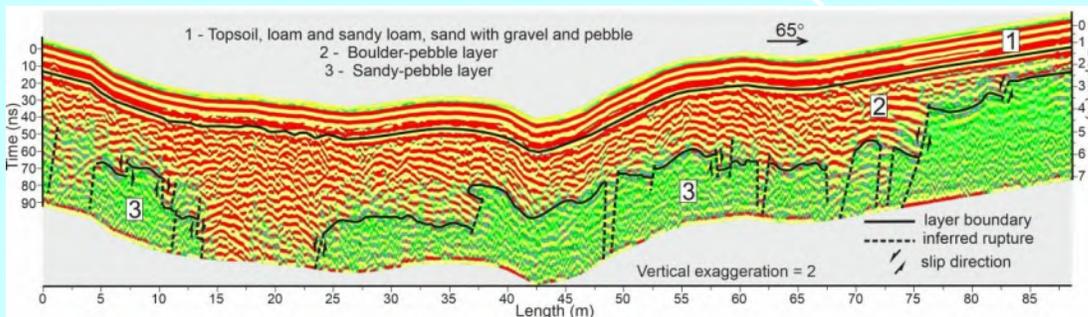
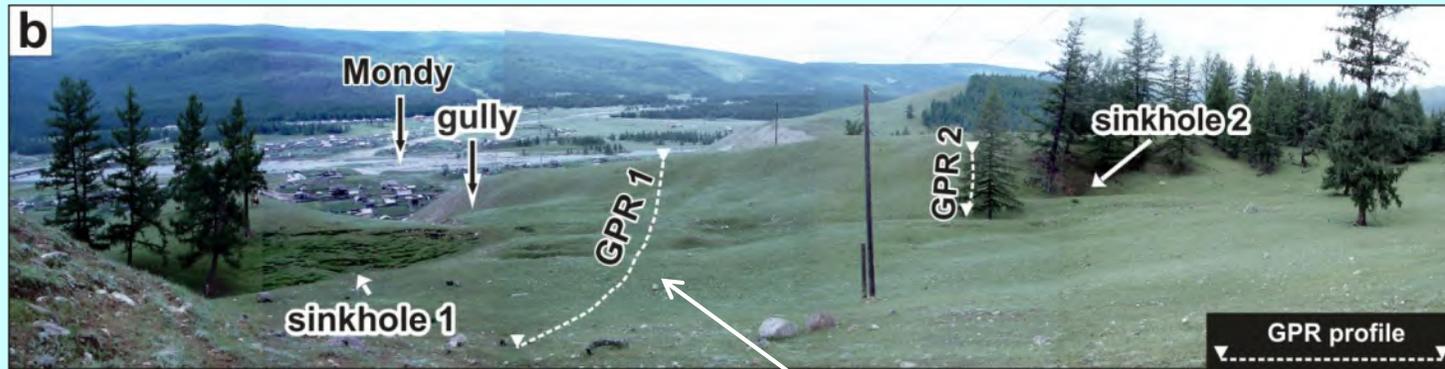
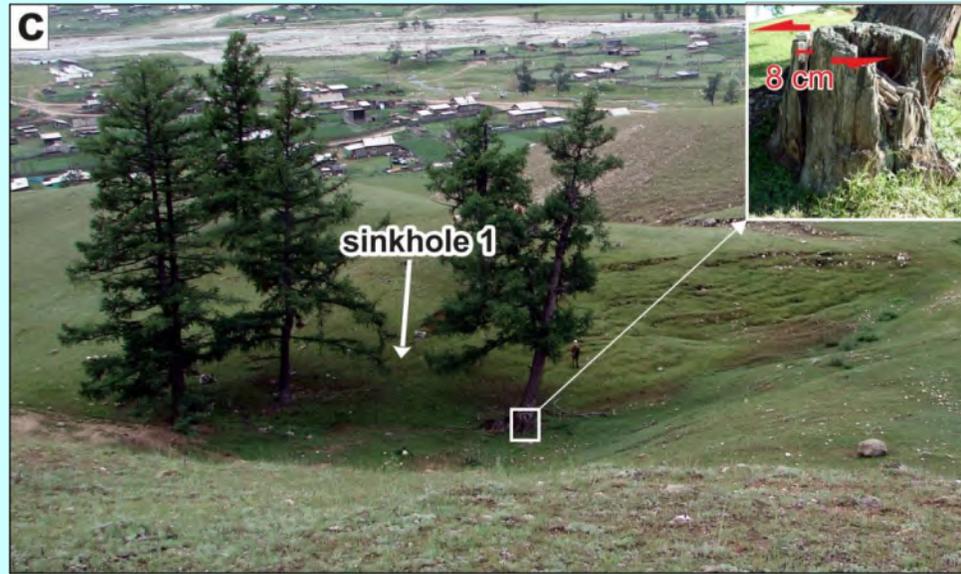
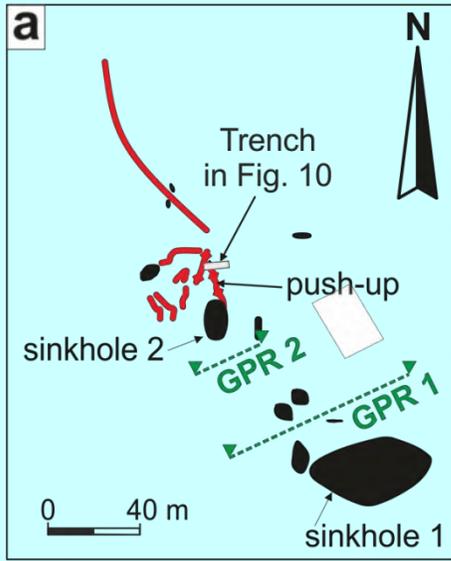
Трещины в старом асфальте и почве, по автотрассе М-53 между г. Слюдянка и пос. Култук, т.н. SLUD__101



На протяжении 115 м - система трещин с простиранием 255-270°. Их раскрытие от 3 до 9 см, амплитуда сброса 4-5 см. По смещению бортов трещин улавливается левый сдвиг в первые см.



Сейсмогенные разрывы и провалы Мондинского землетрясения 04.04.1950 г. с Ms=6.9



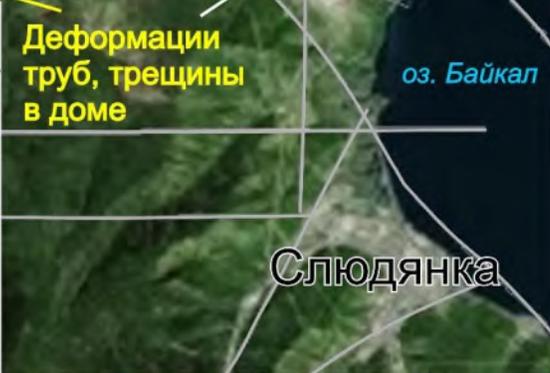
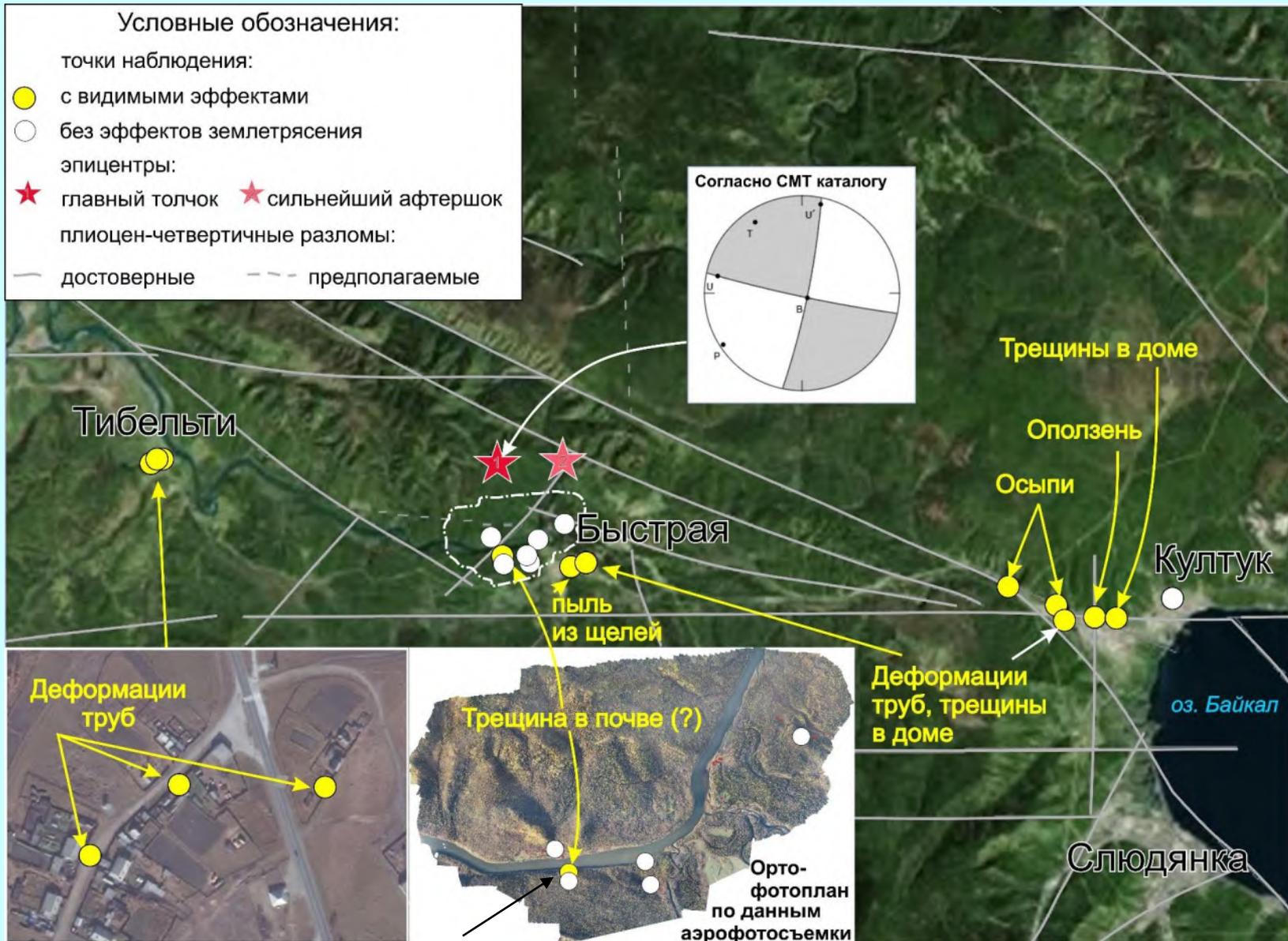
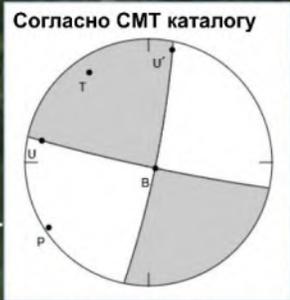
**а – разрыв; в – нептуническая
дайка, вскрытая канавой; с –
зарисовка канавы; d – левый
сдвиг пня в зоне разрыва**

**Георадарный
Разрез (GPR 1)**

Косейсмические эффекты Култукского землетрясения 21.09.2020 г. с Ms=5,2



- Условные обозначения:
- точки наблюдения:
 - с видимыми эффектами
 - без эффектов землетрясения
 - ★ эпицентры:
 - ★ главный толчок
 - ★ сильнееший афтершок
 - плиоцен-четвертичные разломы:
 - достоверные
 - - - предполагаемые

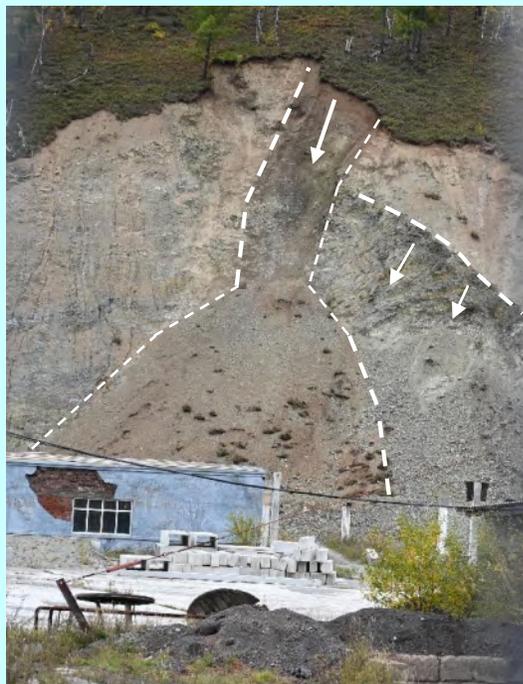


Трещина в почве, покрытой мощным мхом, предположительно от землетрясения

Склоновые деформации Быстринского землетрясения 21.09.2020 г. в пос. Култук, соответствующие макросейсмической интенсивности 7 баллов по шкале ESI-2007, основанной на природных эффектах

Согласно Приложению «И» к ШСИ-2017 (ГОСТ Р 57546-2017).

Оценка интенсивности землетрясения по реакции природных объектов, наблюдаемые деформации соответствуют сейсмической интенсивности 6-7 баллов.



Осыпи



Вид на оползень издали



Вид на оползень вблизи

Повреждения зданий от Быстринского землетрясения 21.09.2020 г.

Пос. Култук, ул. Профсоюзная 1 - 2



д. Тибельти,
ул. Подгорная

*легкий разворот
по часовой стрелке*



д. Тибельти, ул. Подгорная

*повсеместно
по улице ремонт труб*



д. Быстрая, ул. Советская, 38

*растяжение
трубы*



Косейсмические эффекты Кударинского землетрясения 09.12.2020 г. с $M_s=5,4$: трещины в спрессованном снеге (а) и во льду у пос. Новый Энхалук (б), а также повреждения в здании школы МО СП "Байкало-Кударинское" (пос. Кудара, в и г)



Разрывы Чуйского (Алтайского) землетрясения 2003 г. с $M_s = 7.5$



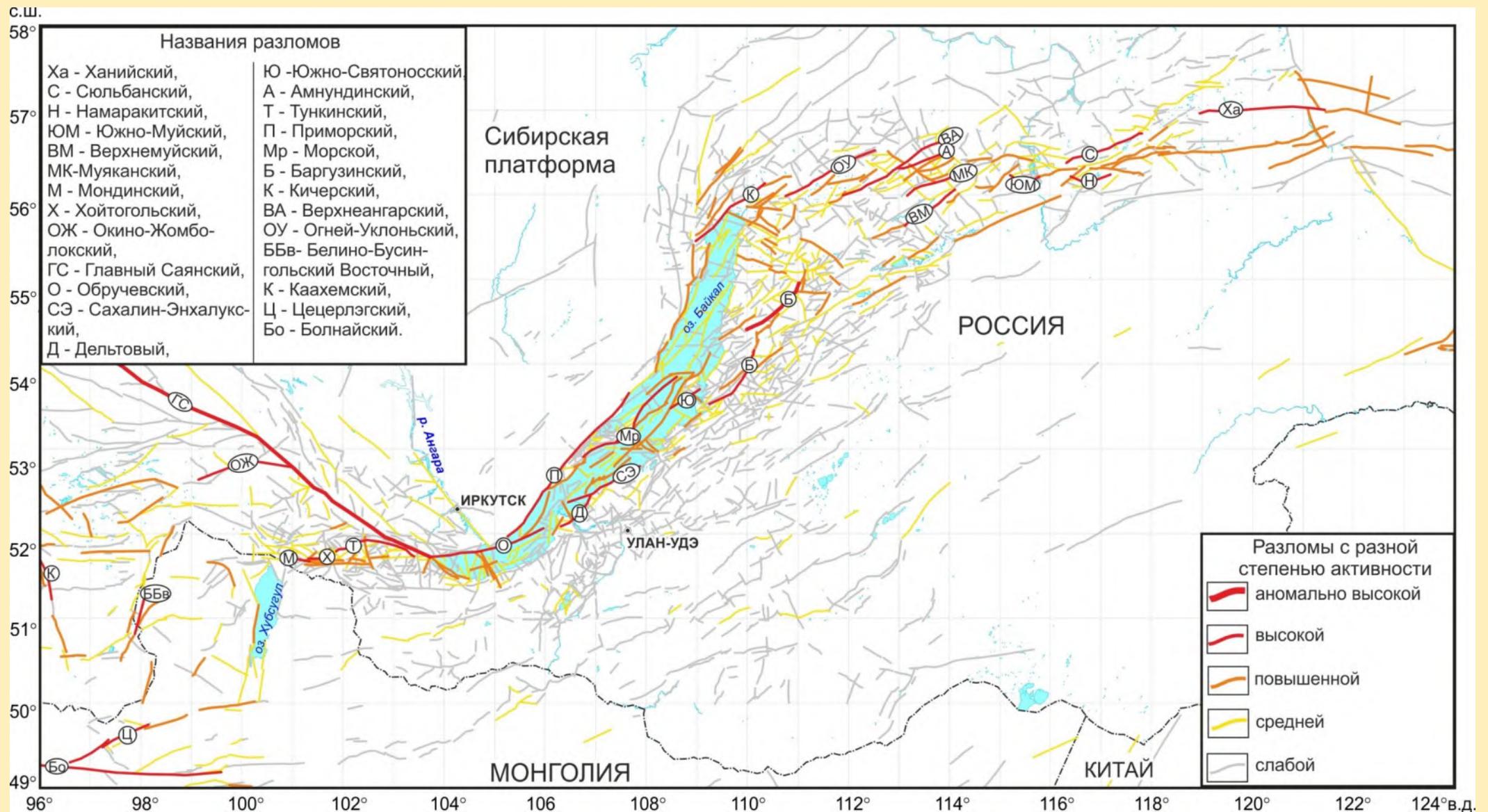
Активный разлом – это нарушение земной коры или всей литосферы, по которому в историческое время или в голоцене происходили смещения

Обвал Чуйского (Алтайского) землетрясения 2003 г. с $M_s = 7.5$

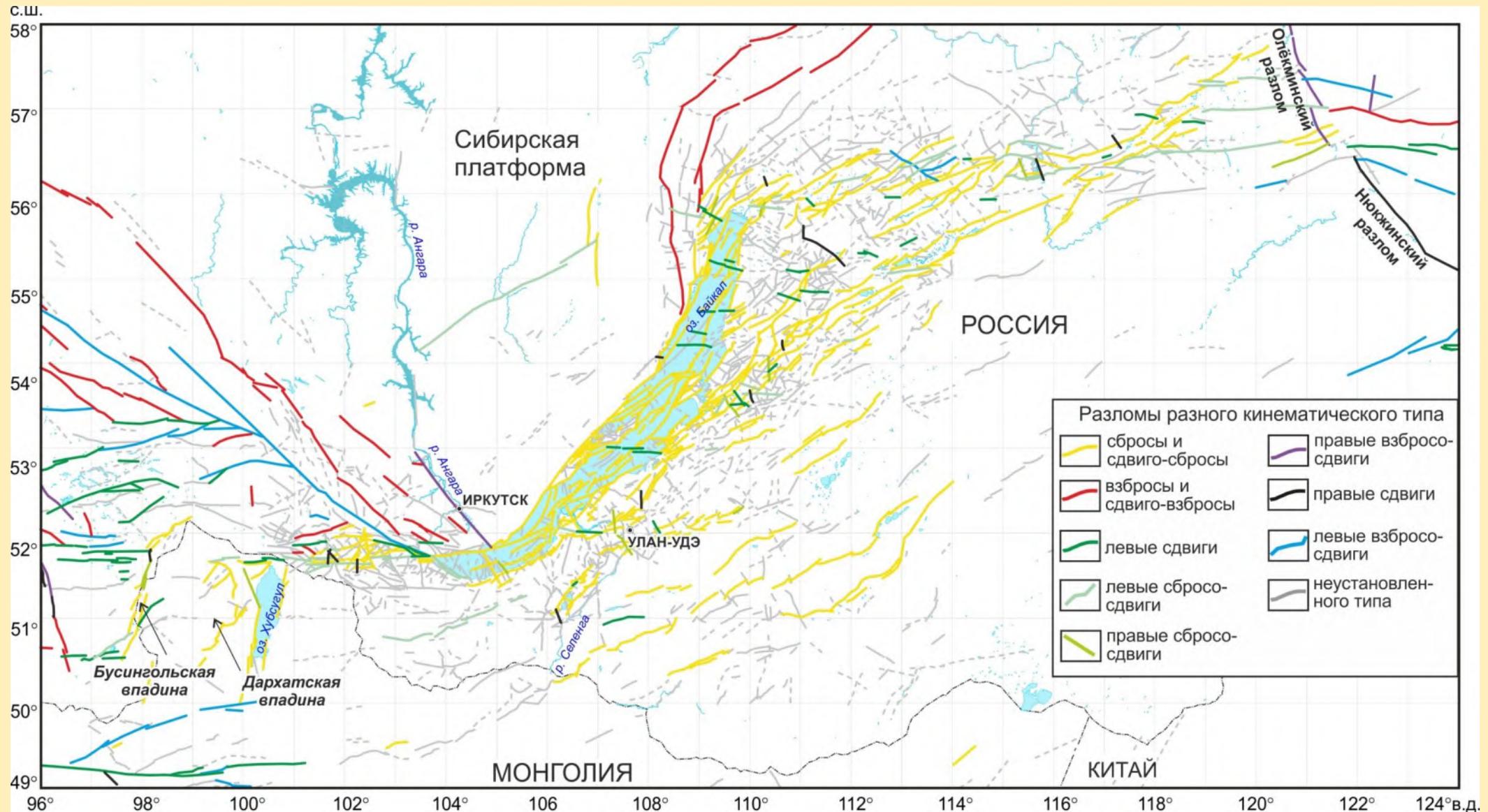


Карта плиоцен-четвертичных разломов, дифференцированных по степени активности

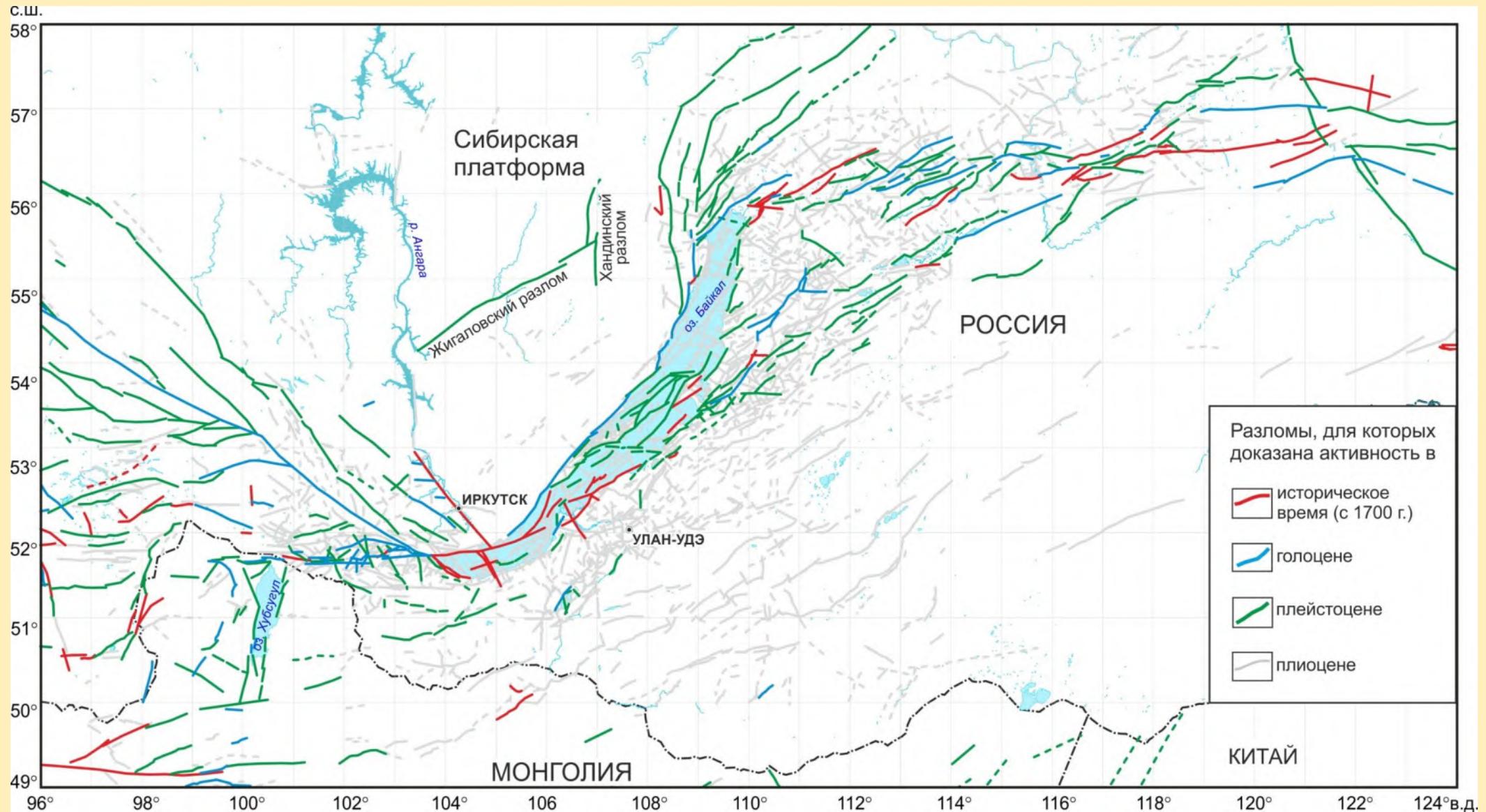
Подписаны разломы со степенью активности со степенью активности > 20 баллов



Пространственное распределение плиоцен-четвертичных разломов с разными типами смещений



Дифференциация разломов по возрасту последней активизации

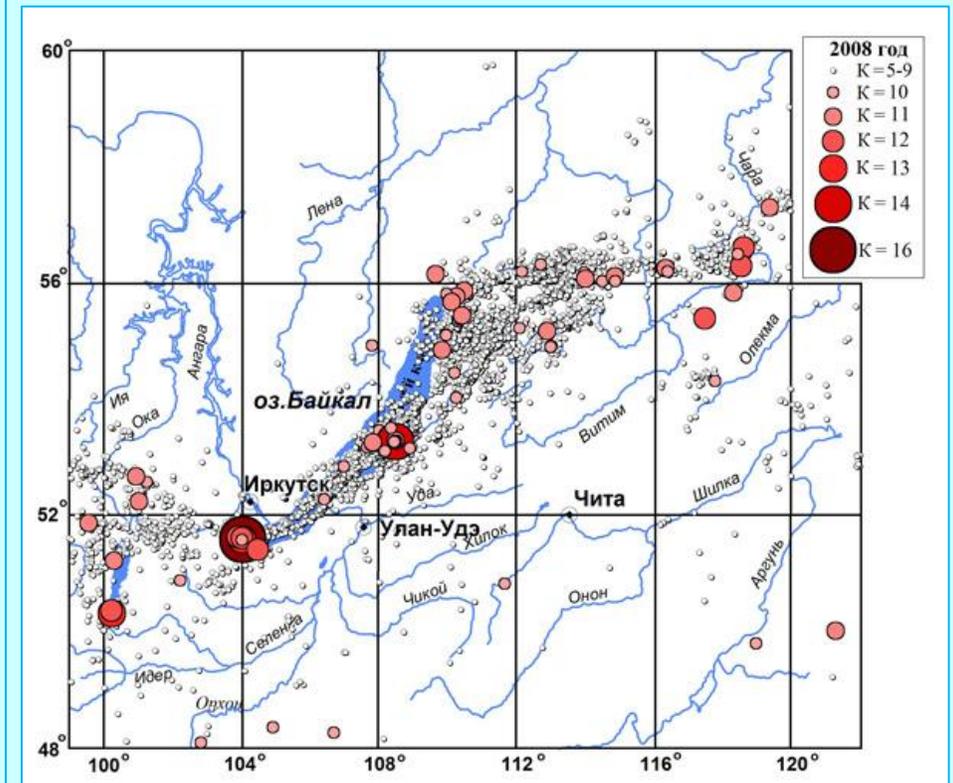


[Лунина, 2016]

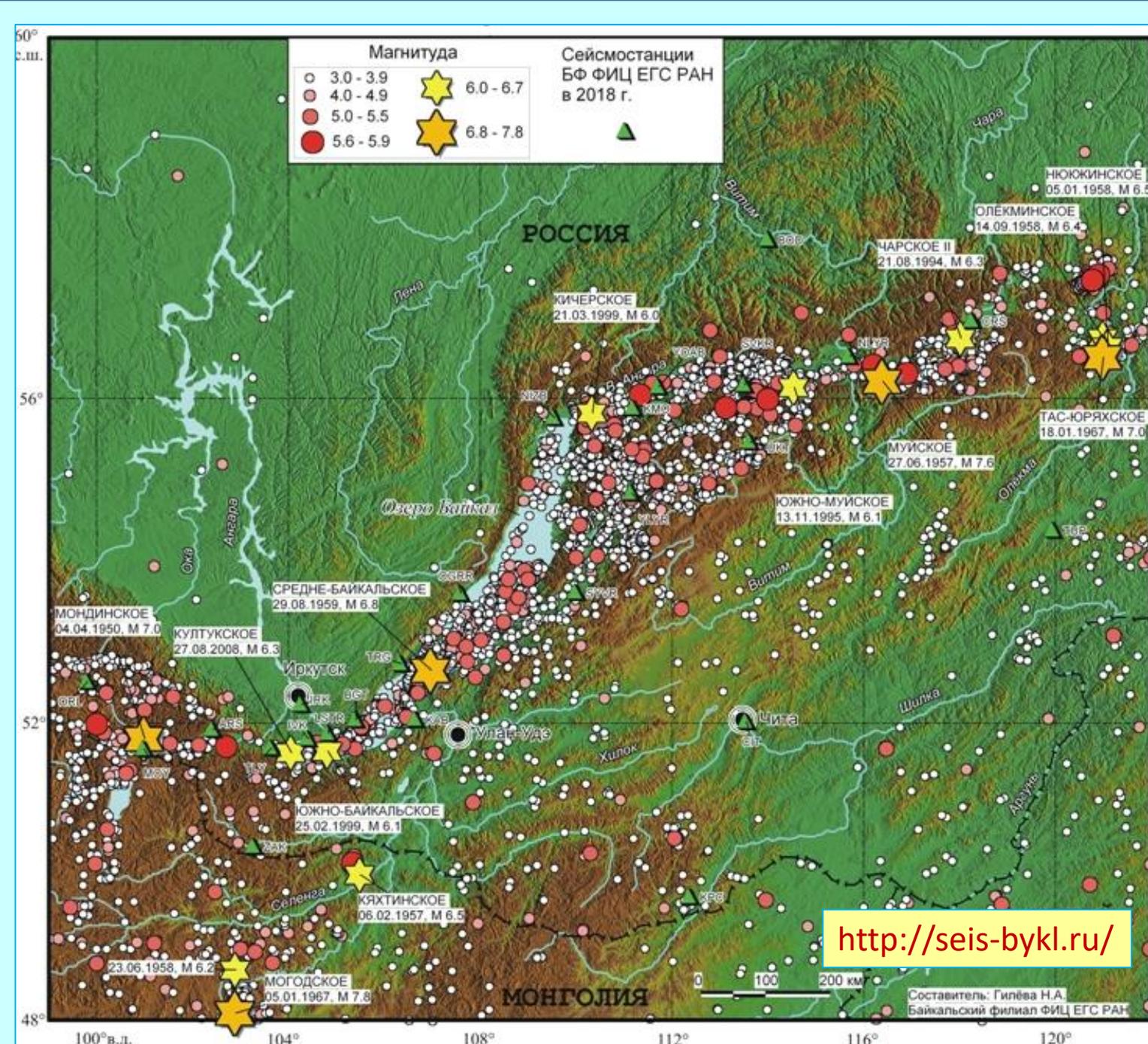
Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 3$ ($K \geq 10$) территории Прибайкалья и Забайкалья за период 1950-2018 г.

Соотношение между энергетич. классом K и локальной магнитудой: $K = 1,8M_L + 4,0$.

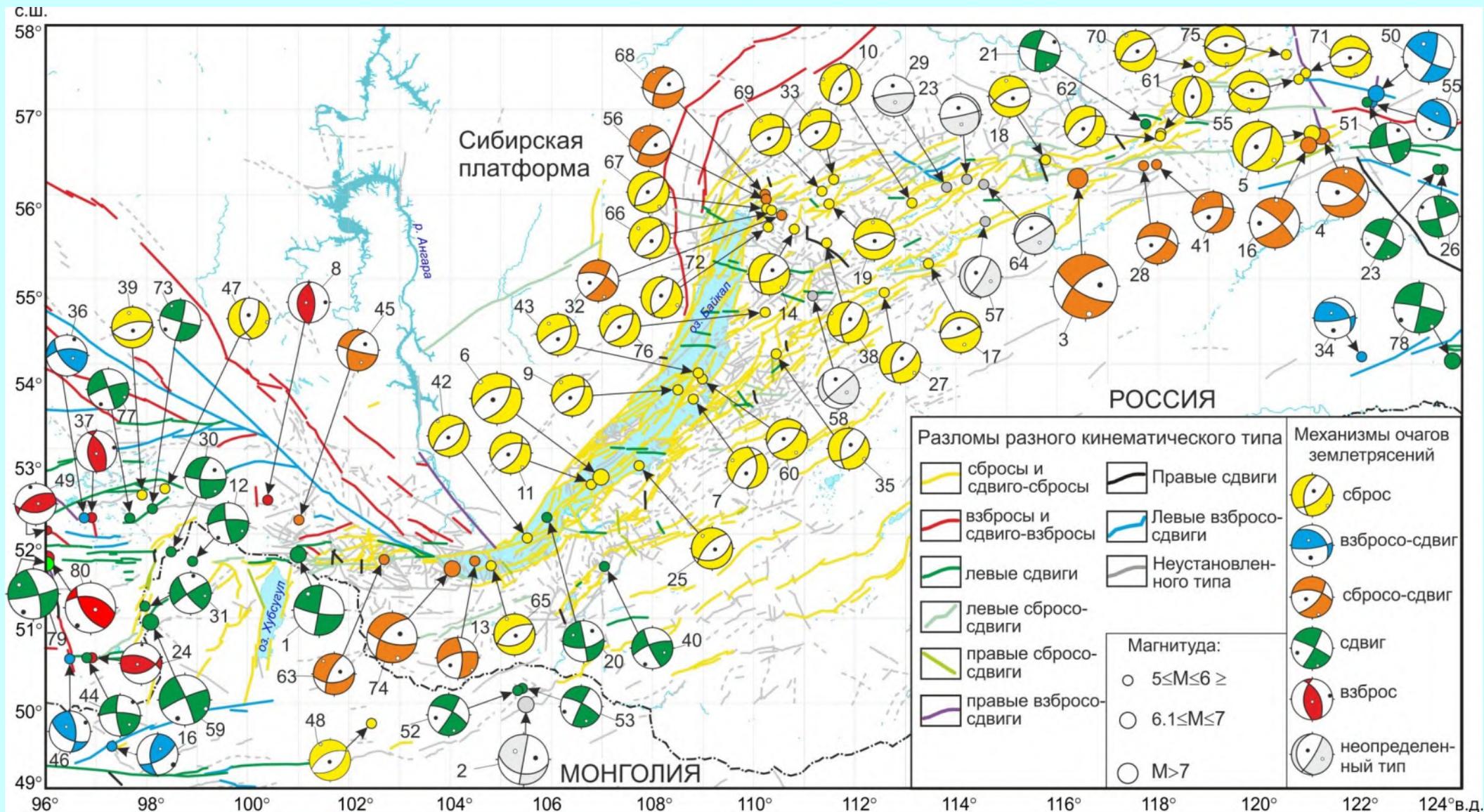
Землетрясения 2008 г. с $K \geq 5$



<http://seis-bykl.ru/>



Индивидуальные решения механизмов очагов землетрясений с магнитудой $M \geq 5$



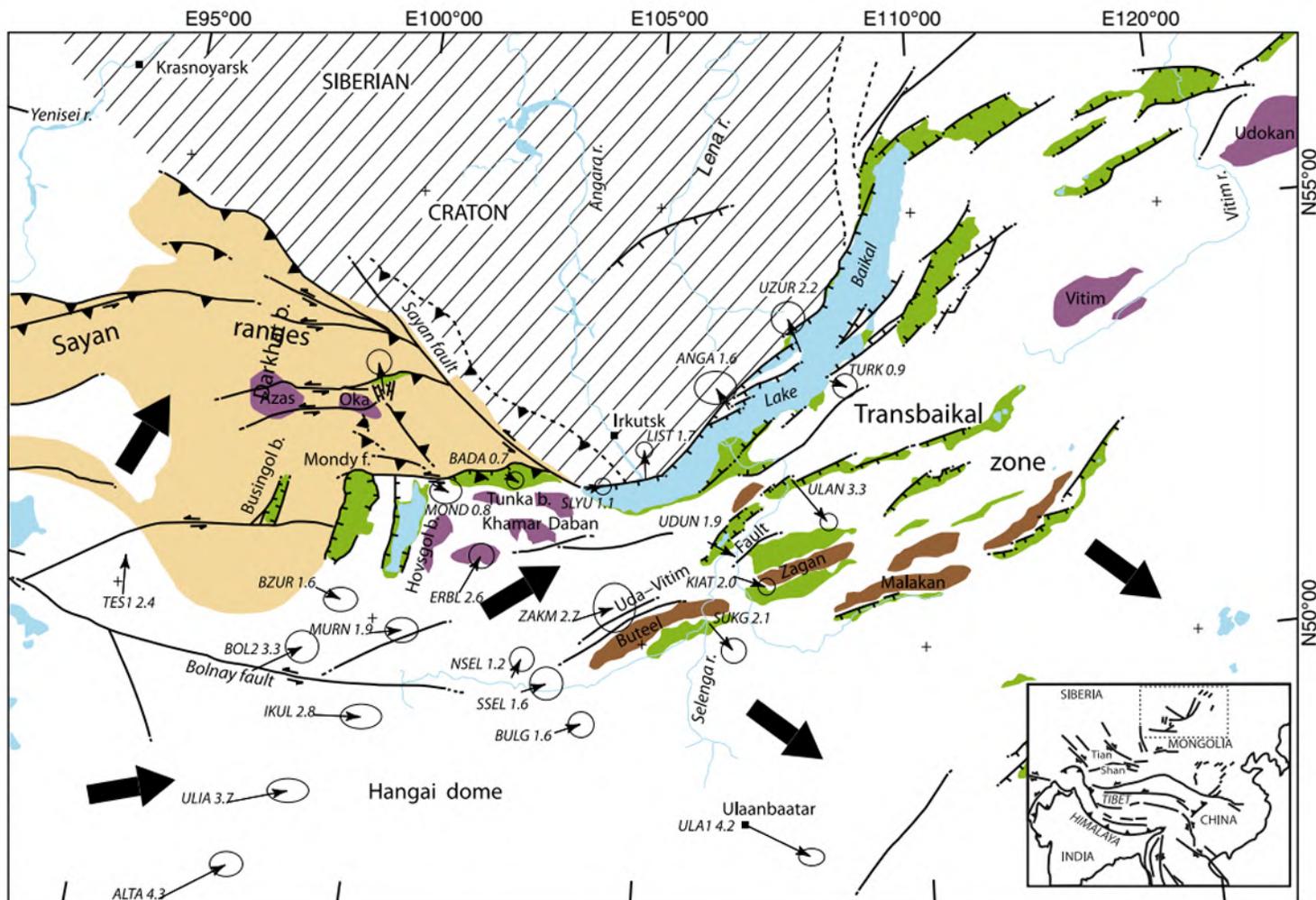
Источники: Солоненко и др., 1993; Radziminovich et al., 2013; GMT - Global GMT Catalog (<http://www.globalcmt.org/>); Мельникова, Радзиминович, 1998; Геофизическая служба РАН (<http://www.ceme.gsras.ru/ceme/as.html>) [Лунина, 2016]

Тектоническая и геодинамическая обстановка Прибайкалья, Забайкалья и Северной Монголии

[Jolivet et al., 2013]

В геодинамическом отношении, Байкальский рифт является границей между Сибирской платформой и Амурской литосферной плитой. Последняя движется в юго-восточном направлении относительно первой со скоростью 3-4,5 мм/год [Calais et al., 1998; 2003; Petit, Fournier, 2005; Petit, Déverchère, 2006, Sankov et al., 2009; 2014]

При скорости 4 мм/год через 10 млн. лет Байкал раздвинется еще на 40 км.



Siberian craton

Mountains of the Sayan ranges

Lakes

Mesozoic and Cenozoic basins

Cretaceous and Tertiary volcanic fields

Metamorphic core complexes

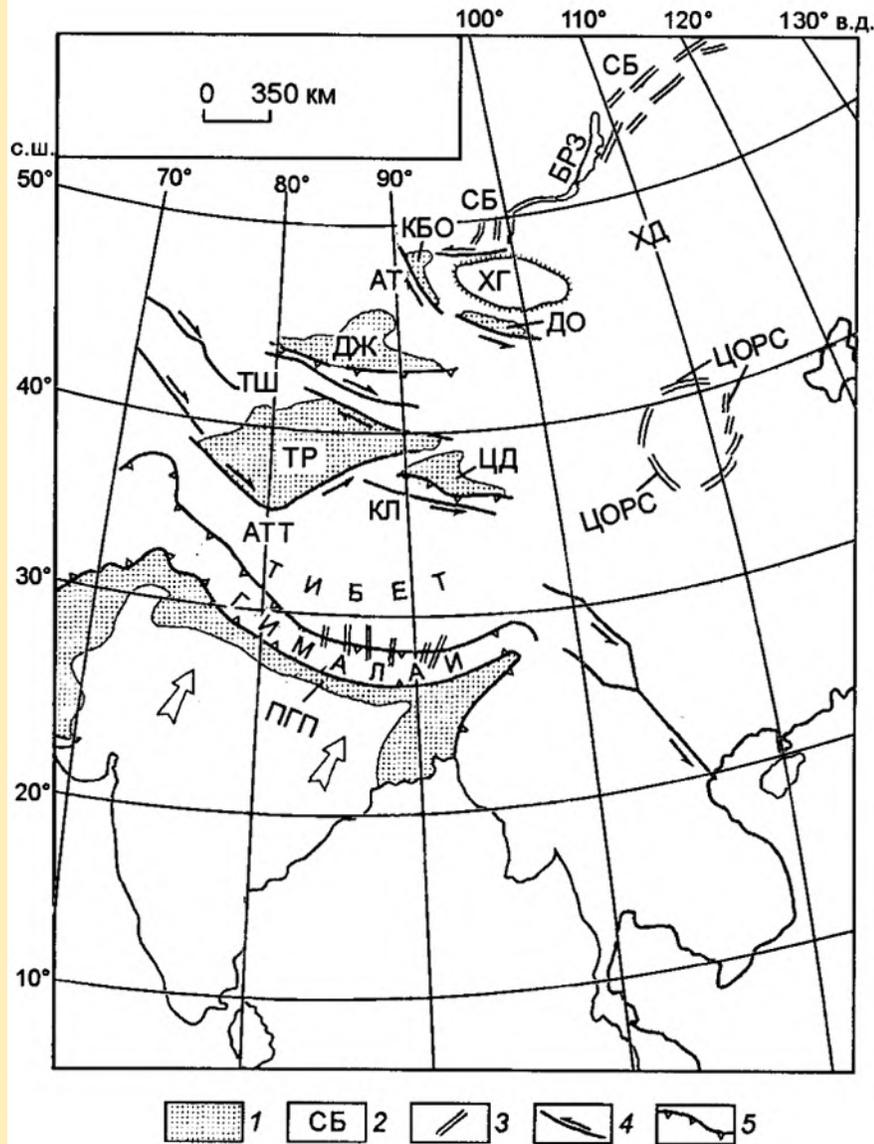
Active normal fault

Active thrust fault

Active strike-slip fault

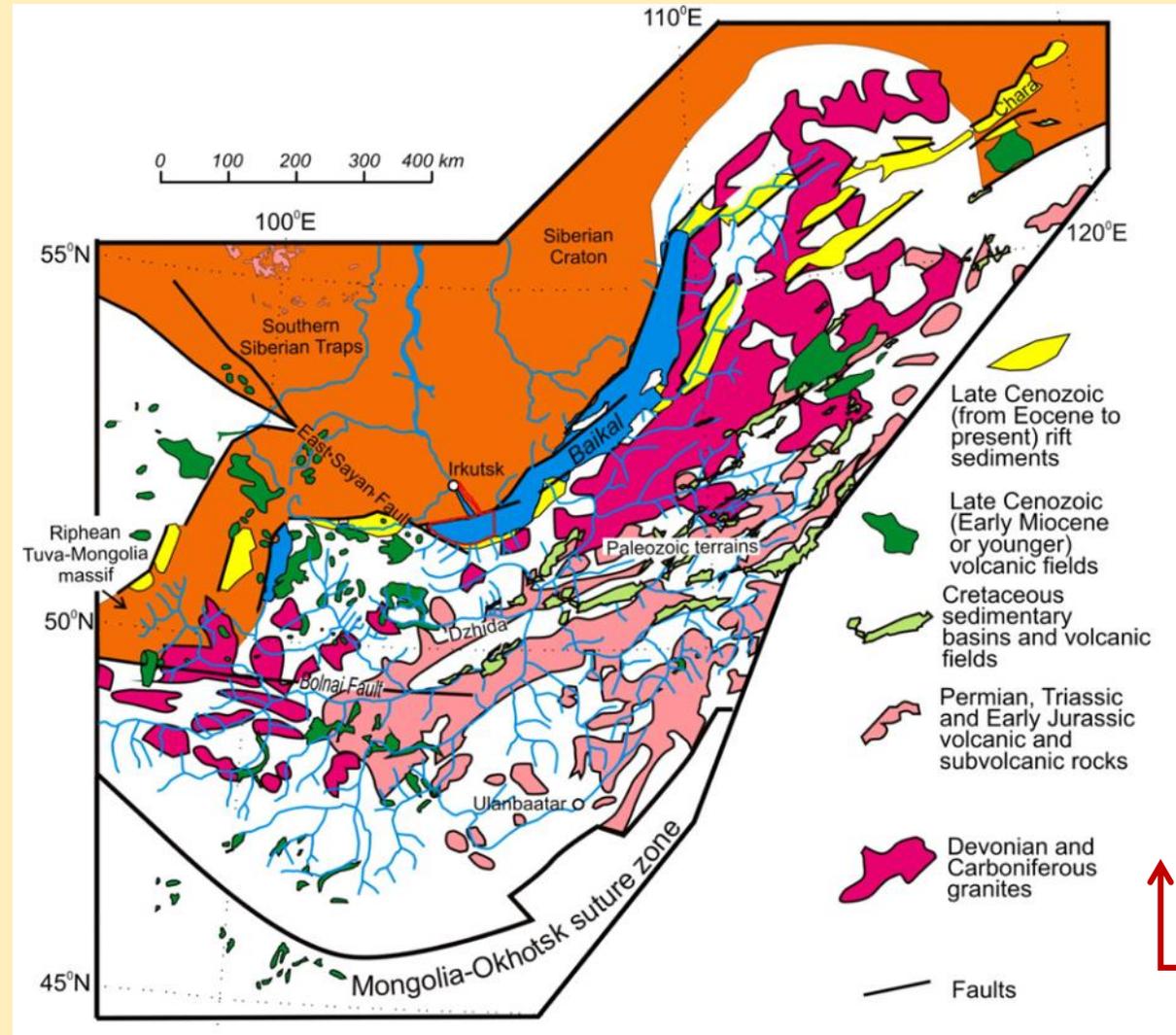
GPS data (in mm/yr)

General direction of motion



← Главные элементы кайнозойской структуры Центральной Азии между Байкальским рифтом и Гималайским коллизионным фронтом

«Как бы то ни было, кайнозойский рифтогенез на юге Восточной Сибири невозможно объяснить одной лишь Гималайской коллизией, игнорируя местный геодинамический фактор» [Логачев, 2003]



Схематическая карта главных геологических структур района оз. Байкал и окружения

Термальные источники и выходы газов



Бухта Змеёвая, Чивыркуйский залив

Термальные источники Байкала и Прибайкалья

Поиск мест и адресов

Термальные источники

Создать новую карту

Термальные источники республики Бурятия и Иркутской области

Последнее обновление: 13 ноября 2019

- 1 Аллинский горячий источник**
Россия, Республика Бурятия, Курумканский район. T=50-77°C. Тип воды: сульфатно-гидрокарбонатная вода.
- 2 Аршан. Термальный источник**
Россия, Республика Бурятия, Тункинский район. T=45°C. Тип воды: углекислые, маломинерализованные, кремнистые сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевые слабосиловые термальные воды и сульфидные иловые грязи.
- 3 Баунтовский термальный источник**
Россия, Республика Бурятия, Баунтовский Эвенкийский район. T=36-53°C. Тип воды: азотно-кремнистые слабосульфидные гидрокарбонатные натриевые воды.
- 4 Гаргинский источник**
Россия, Республика Бурятия, Курумканский район, поселок Курорт-Гаргинский. T=20-76°C. Тип воды: сульфатная натриевая вода
- 5 Горячинский источник**
Россия, Республика Бурятия, Прибайкальский район, село Горячинск. T=54.5°C Тип воды: слабуминерализованная азотно-кремнистая, щелочная (pH 8 - 9), сульфатно-натриевая вода.
- 6 Термальный источник Гуджекит**
Россия, Республика Бурятия, Северо-Байкальский район, урочище Гуджекит. T=50°C. Тип воды: фтористо-гидрокарбонатная.
- 7 Гусихинский минеральный источник**
Россия, Республика Бурятия, Баргузинский район. T=43-52°C И СКВ. T=73-74°C. Тип воды: Фтористая гидрокарбонатно-сульфатная натриевая Кульдурского типа.
- 8 Давшинский источник**
Россия, Республика Бурятия, Северо-Байкальский район. T=41.5°C. Тип воды: сульфатно-натриевая.

Геотермальные источники - это воды, нагретые выше +20 С

https://baikal-ayan.ru/termalnye-istochniki-pribaykalya#mcetoc_1dpi4ug0i10

Концептуальная модель, иллюстрирующая взаимодействие разрывных нарушений, выходов термальных вод и газов в области Ликвинэ в Чили [Daniele et al., 2019]

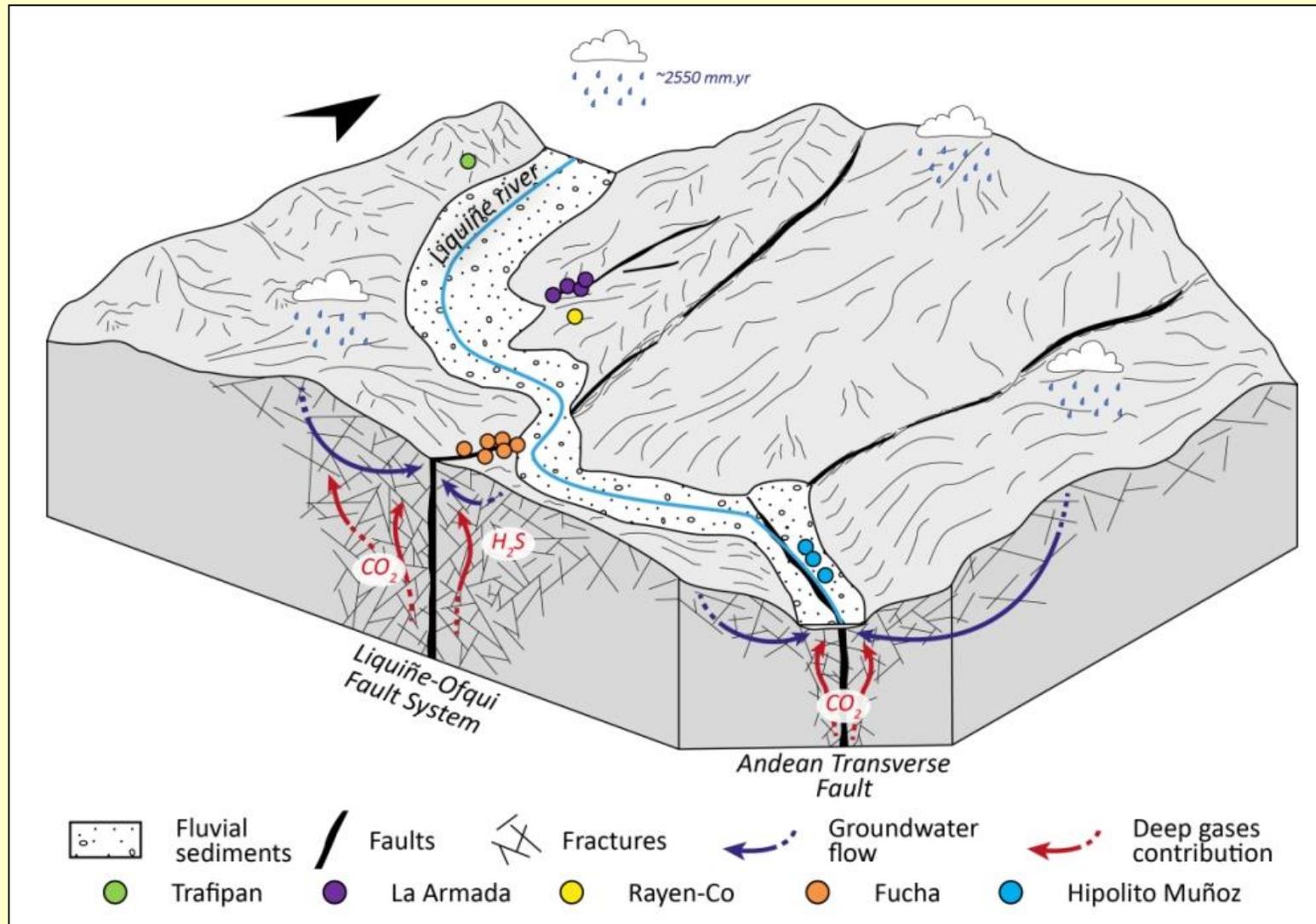
Термальные источники подразделяются на три категории:

Субтермальные (теплые): от +20 до +37 °C;

Термальные (горячие): от +37 до +42 °C

Гипертермальные (очень горячие): выше +42 °C.

Самый горячий на Байкале расположен на Котельниковский, его температура достигает +81 °C.



Нагревание может происходить по двум причинам:

1 – выход магмы в районах активного вулканизма;

2 – процесс теплообмена на больших подземных глубинах. Чем глубже к центру земли, тем жарче. В среднем прирост температуры составляет 3 °C на каждые 100 м.

Разгрузка горячих вод происходит по разломам, достигающим глубин от первых до десятков км.

И немного о газе и байкальской нефти

Каждую зиму во льдах Байкала появляются необычные белые пузыри разного диаметра. И их можно поджечь. Это метан, который образуется при разложении газогидратов

Газогидраты — это соединения газа, например, метана и воды, стабильные только при высоком давлении и низкой температуре. Представляют собой твердую массу белого цвета, похожую на лед.

«Если на дне водоема, на глубине от 500 метров и более, происходит выход метана на поверхность, то получается это соединение. При подъеме на поверхность давление уменьшается, а температура растет, поэтому газогидрат разлагается на метан и воду», — В. Анненков.

Газ образуется из умерших организмов.

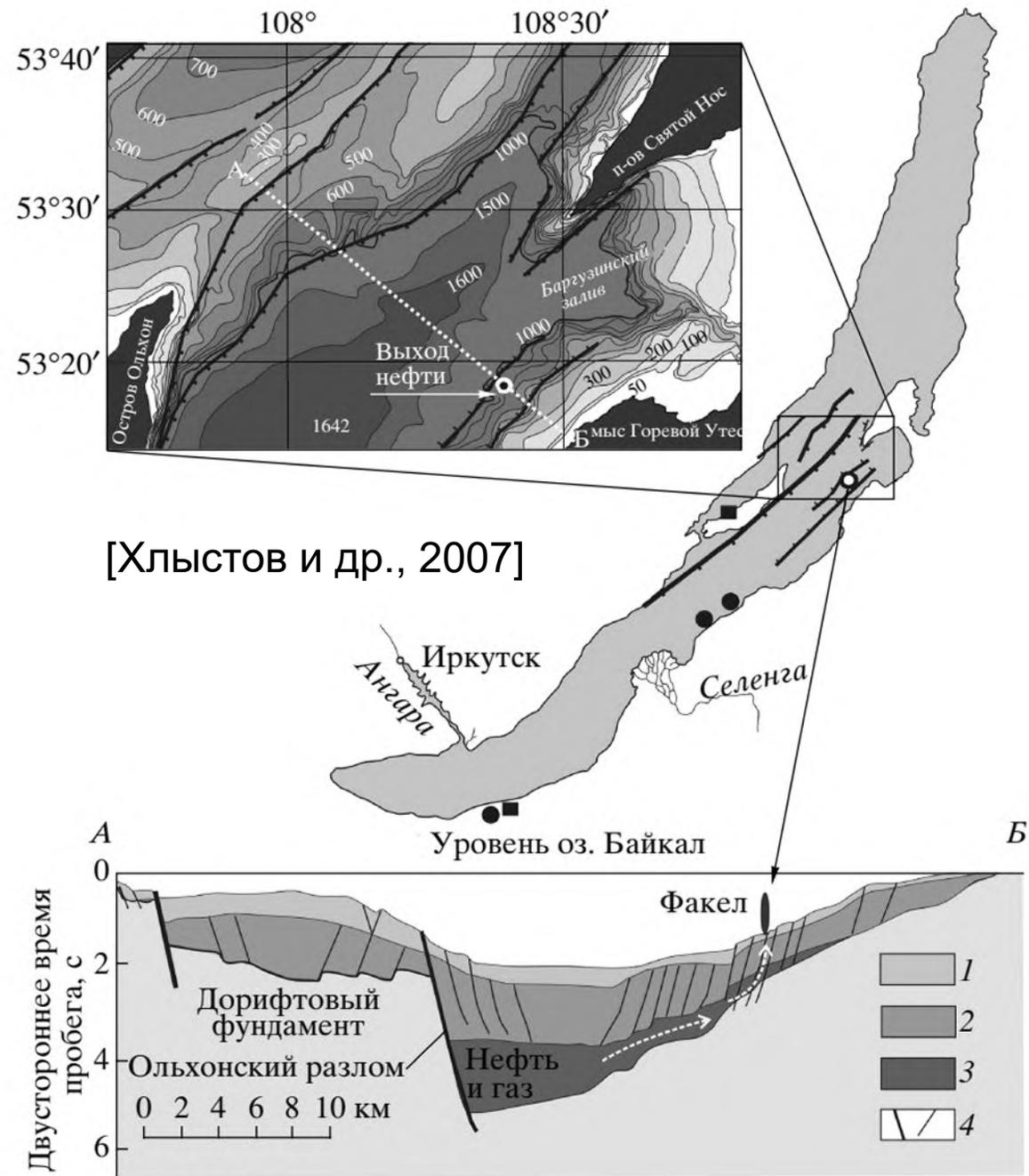
Обзорная карта оз. Байкал с местами естественных выходов нефти, битумов (черные кружки) и углей (черные квадраты)

Нефть в виде битума обнажается в береговых обрывах или поступает на поверхность воды в виде всплывающих шариков вязкой нефти, образуя пятна летом и битуминозные пленки и включения в трещинах зимой.

Нефть Байкала не древнее меловой эпохи [Каширцев и др., 2006], а по данным [Хлыстов и др., 2007] имеет олигоцен-раннемиоценовый возраст (~30-20 млн лет)

В районе Баргузинского залива на площади ~1 км ежегодно разгружается около 4 т. нефти. Нефть быстро трансформируется, благодаря нефтеокисляющим бактериям, живущим в оз. Байкал [Хлыстов и др., 2007].

Осадочный чехол вдоль восточного побережья Байкала рассечен до фундамента активными разломами – сбросами. Нефть разгружается в водную толщу именно по этим проницаемым зонам тектонических нарушений.



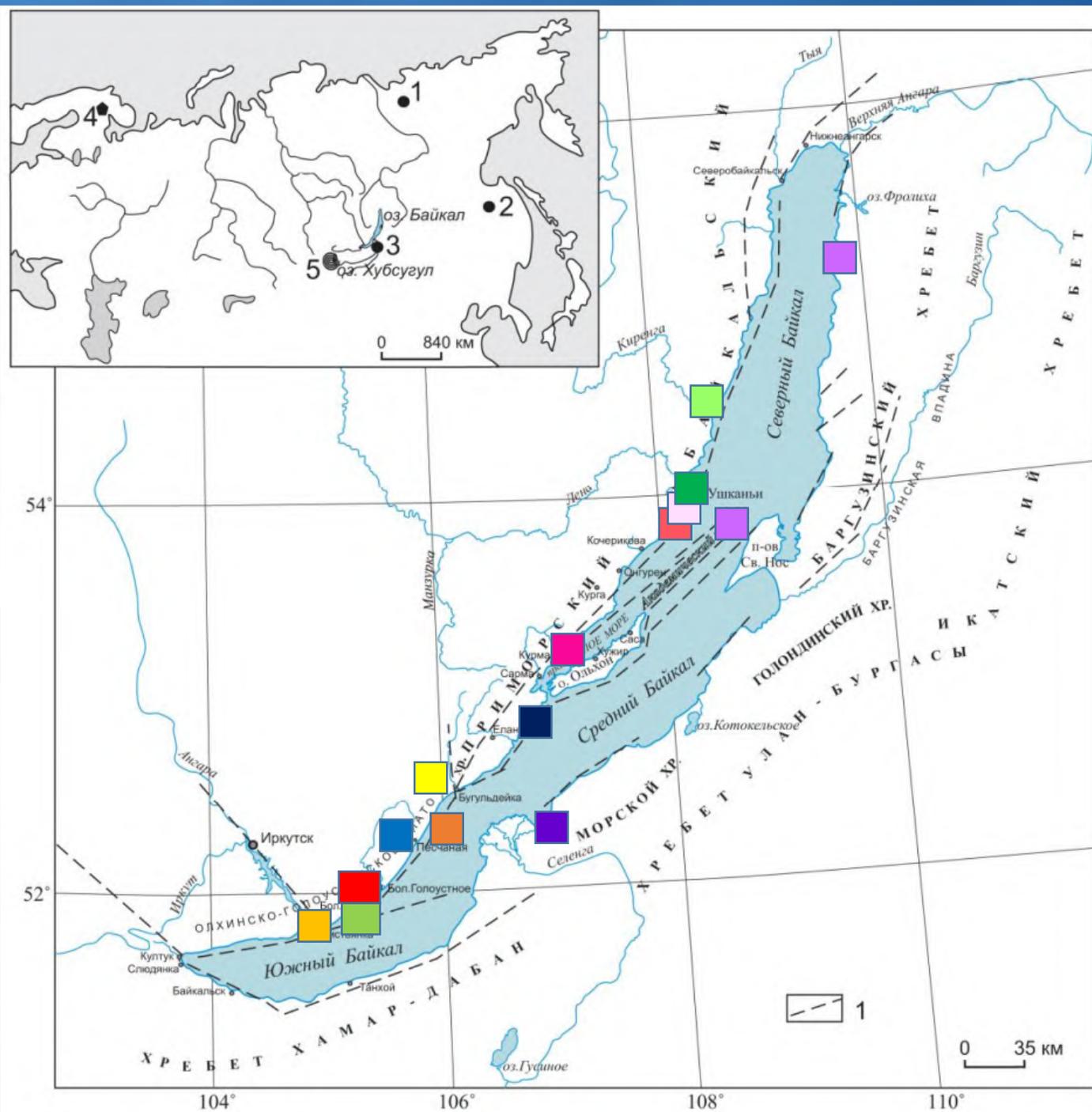
Уникальные места Байкальского рифта и сопредельных территорий: беглый обзор



- Район Листвянки и истока р. Ангары
- Строматолитовые известняки пади Мал. Кадильная
- Дельта р. Голоустной и Сухое озеро
- Граниты рапакиви в бухте Песчаная
- Красноярская палеосейсмодислокация
- Мраморный карьер в районе с. Бугульдейка
- Дельта р. Селенги и залив Провал
- Тажеранские степи

- Малое море и о. Ольхон: следы разрывообразования
- Тектонические загадки мыса Рытого
- Разрывы мыса Шартлай
- Разрывы мыса Тытери и окрестностей
- Среднекедровые разрывы
- Террасы Байкала

Уникальные места Байкальского рифта и сопредельных территорий: беглый обзор



Некоторые геологические путеводители по Байкалу

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH
INSTITUTE OF THE EARTH'S CRUST

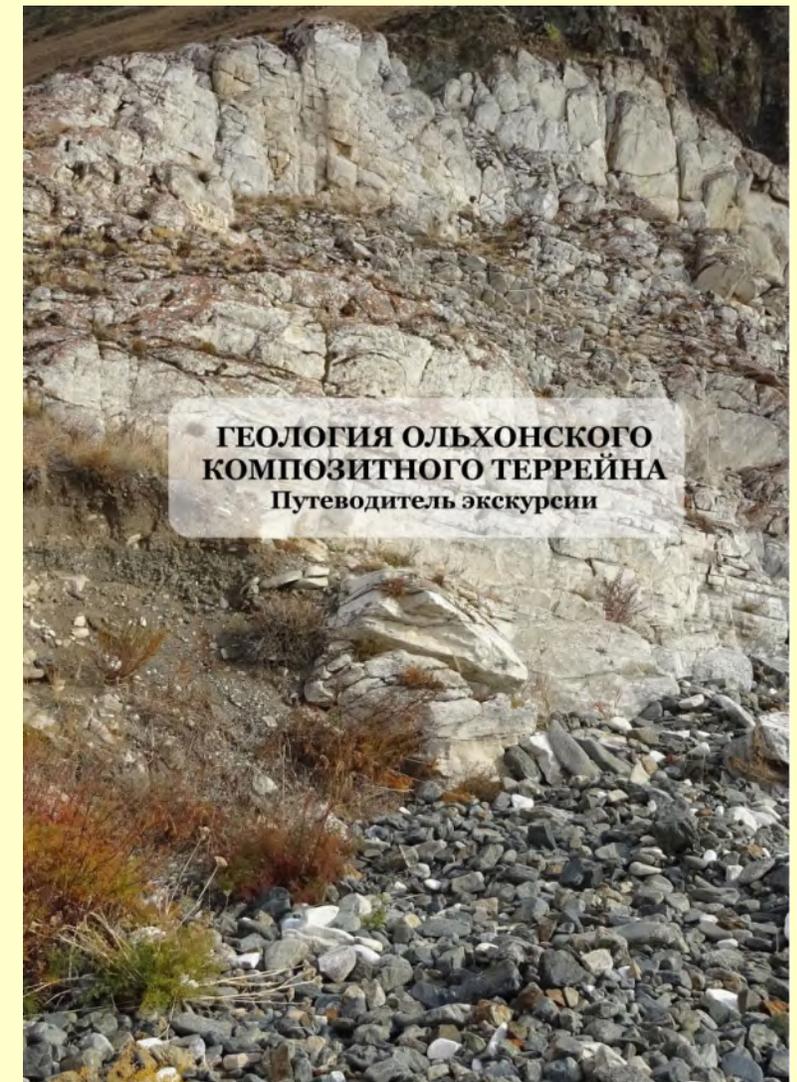
**The anatomy of the Olkhon terrane:
Cross section from the southern margin
of the Siberian craton into the northern
Central Asian Orogenic Belt**

Edited by D.P. Gladkochub and T.V. Donskaya

Guidebook for field excursion

Irkutsk, Russia
September 9–12, 2017

IRKUTSK – 2017



Благодарю за внимание!

*Материалы лекции подготовлены Оксаной Викторовной Луниной,
доктором геол.-мин. наук, главным научным сотр. ИЗК СО РАН*