Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых

Лекция 10

Геотермические методы исследований.

Тепловое поле Земли

История геотермических исследований

- С началом горнорудного дела в Западной Европе было обращено внимание на увеличение температуры в шахтах примерно на 1^0 на 30-40 м.
- XVII век – первое литературное упоминание об этом феномене (Бойль, 1667).
- 1868 г. Британская научная ассоциация организовала сбор и систематизацию данных исследований геотермического градиента и теплового потока. Согласно этим данным среднее значение плотности теплового потока на континентах составляла 1.3 мккал/сек*см^2. Под плотностью теплового потока понимается количество тепла, проходящее через единичную площадку в единицу времени.
- 1949 г. Буллард получил данные о тепловом потоке океанов – 1.2 мккал/сек*см^2.
- 1961 г. – всплеск геотермических исследований по всему Миру. К настоящему времени более 10 000 измерений. Измерения проводятся в выдержанных скважинах . Приборы – электрические термометры.

Базовые идеи геотермии

- Тепло всегда имеет тенденцию двигаться от нагретых к холодным областям (как вода – из области высокого давления в сторону низких давлений).
- Температура возрастает с глубиной. Температурный градиент в скважинах на континентах составляет 25-30^0/км. Однако, этот градиент не справедлив на больших глубинах, иначе на глубине 100 км мы бы имели температуру 2500^{0}C, что выше температуры плавления всех известных пород. По сейсмическим данным Земля на этих глубинах твердая. Т.о. температурный градиент уменьшается с глубиной.

Перемещение тепла

- a) Кондуктивный перенос тепла.
  Тепло перемещается через материал от более нагретой части к более холодной.
- b) Конвективный перенос тепла. Тепло переносится движением горячего материала (подобно циркуляции горячей воды в системе отопления). В этой системе нагретый материал с пониженной плотностью поднимается вверх, где он охлаждается, его плотность увеличивается и он погружается вниз.
- c) Электромагнитный перенос тепла («лучистая энергия»). Связывается со световыми, радиоволновыми и другими типами излучения.

- В вакууме теплопередача только через излучение. В звездах, где температура достигает десятки – сотни млн.0^C преобладает этот механизм передачи энергии.
- Для Земли механизм не актуален, хотя при температурах 2000-3000^{0}C в некоторых силикатах процесс, возожно, имеет не меньшее значение, чем кондуктивный перенос.

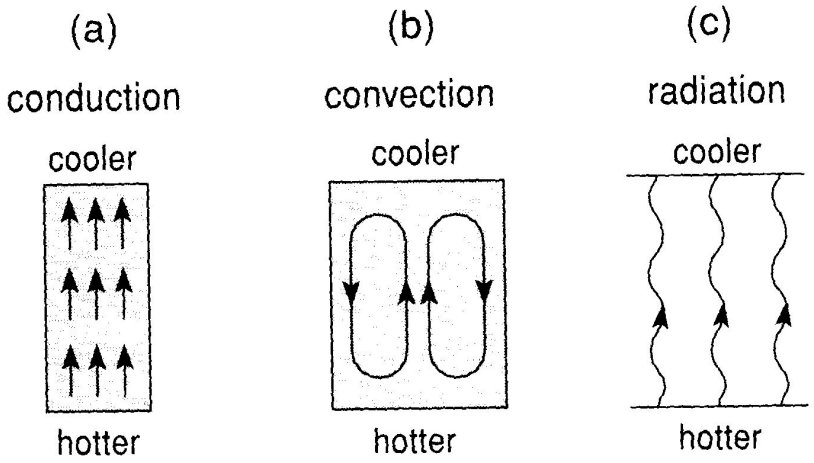


Figure 17.1 Ways that heat travels.

Конвекция и кондукция внутри Земли.

- В составе верхних оболочек Земли выделяется твердая литосфера и горячая астеносфера, которая медленно течет.
- Тепло, поступающее из глубины Земли, в астеносфере транспортируется главным образом конвективным путем. Достигая литосферы тепло перемещается путем кондукции.
- В пределах астеносферы температурный градиент резко падает до $1/2^0$C/км.
- Конвекция локально проявляется в литосфере – т.н.диапиры – подъемы менее плотной магмы.
- Термальная конвекция проявляется при нагреве подземных вод горячими интрузиями.

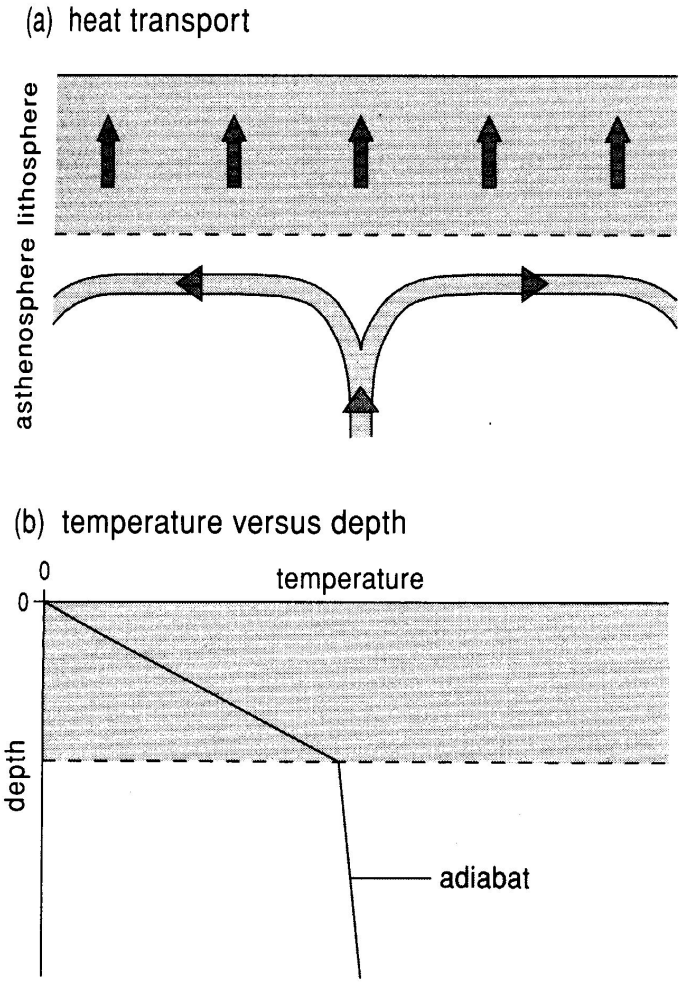


Figure 17.2 Heat transport within the Earth (schematic).

Тепловой поток и температура.

- **1. Измерения теплового потока.**

  Скорость, с которой тепло двигается к дневной поверхности – тепловой поток -**Q** (джоуль/сек).

  Плотность теплового потока – тепловой поток, проходящий черех 1 квадратный метр (вт/м^2).

- Как измерить тепловой поток на практике?

  Количество тепла (тепловой поток - **Q**), переносимое через блок пород рассчитывается по разнице температур (**T**Δ) подошвы и кровли, длине блока (**L**), площади его сечения (**A**) и значению теплопроводности (λ)с использованием уравнения тепловой кондукции.

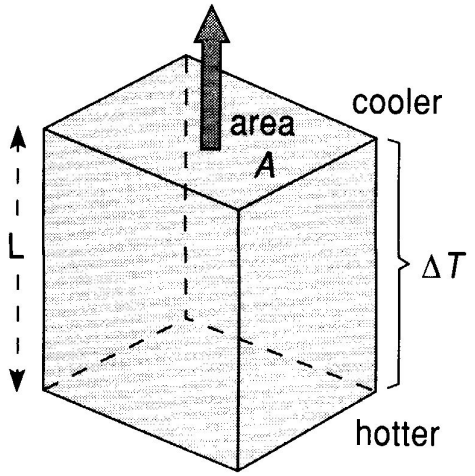


Figure 17.3 Heat conduction through a block.

Уравнение тепловой кондукции

$$Q = A \times \Delta T / L \times \lambda$$

- λ (теплопроводность пород) характеризует легкость, с которой тепло переносится через материал.

- Плотность теплового потока (**q**) рассчитывается по формуле:

$$q = \Delta T / L \times \lambda$$

- ΔT измеряется на двух глубинах с использованием термометров

- λ измеряется в лабораторных условиях,

- Плотность теплового потока на поверхности Земли изменяется в пределах от 40 до 200 мВт/м^2.

Континентальная литосфера и радиоактивность.

- Континентальная литосфера (в отличие от океанической) содержит значительное количество радиоактивных элементов (U,Th, K). Они продуцируют тепло.
- Количество тепла, продуцируемое в 1 кв. метре каждую секунду – теплогенерация.

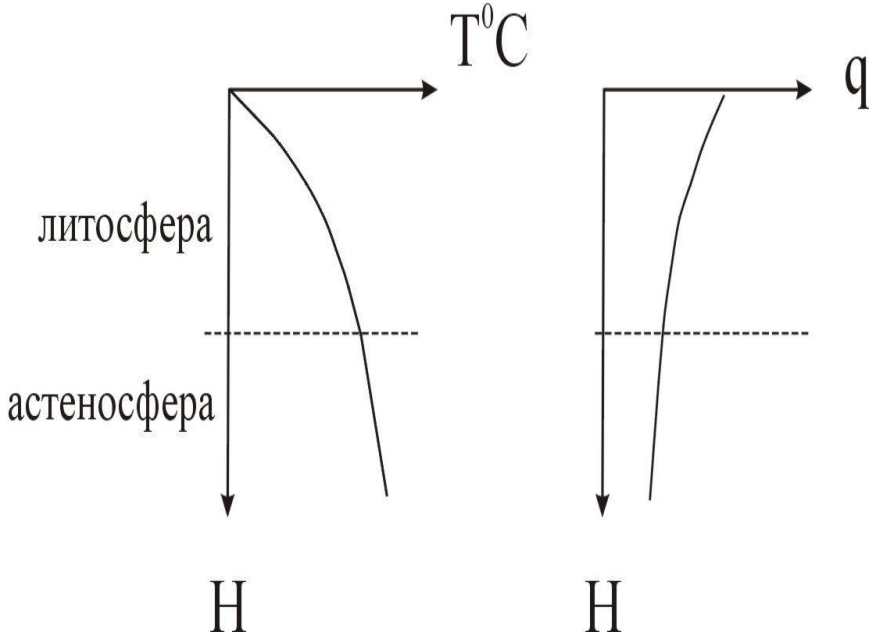
Как рассчитать радиогенную составляющую теплового потока?

- на приповерхностных уровнях – вычисляется по установленным концентрациям радиоактивных элементов.

- на глубине – по научным оценкам. Мы знаем, что с глубиной теплогенерация падает т.к. Радиоактивные элементы концентрируются в магмах и выносятся в верхнюю кору.

Т.о.: - тепловой поток с приближением к поверхности Земли возрастает.

- температурный градиент с приближением к поверхности Земли также возрастаем, сравнительно с моделью литосферы без учета радиогенной составляющей.



Глобальный тепловой поток и геотермальная энергия

- Суммарный тепловой поток Земли – около 42×10^{13} Вт.
- Это в 50-100 раз больше, чем
  продуцирует 10 000 самых крупных электростанций .
- Значительная часть теплового потока создается радиоактивной теплогенерацией.

Радиоактивная теплогенерация

Часть Земли	% объема Земли	Породы	Теплогенерация мВт/м^2	% общего теплового потока Земли
Континентальная кора	0.7%	Гранитоиды, гнейсы	0.55	10%
Океаническая кора	0.2%	Габбро	0.03	0.15%
Мантия	84%	Перидотит	0.014	30%
Ядро	16%	Железо	Ничтожно мало	Ничтожно мало
Суммарно				**40%**

Геотермальная энергия

- Геотермальная энергия может обеспечить нужды человечества, но большая ее часть приурочена к океанам.
- Средний тепловой поток на континентах – 50 мВт/м^2. Но этот энергетический ресурс, достигающий поверхности Земли, к сожалению очень мал. Он примерно в 1 000 000 раз меньше тепла, получаемого кастрюлей на газовой плите. Однако, имеются особые условия, когда тепло Земли используется в хозяйственных целях.

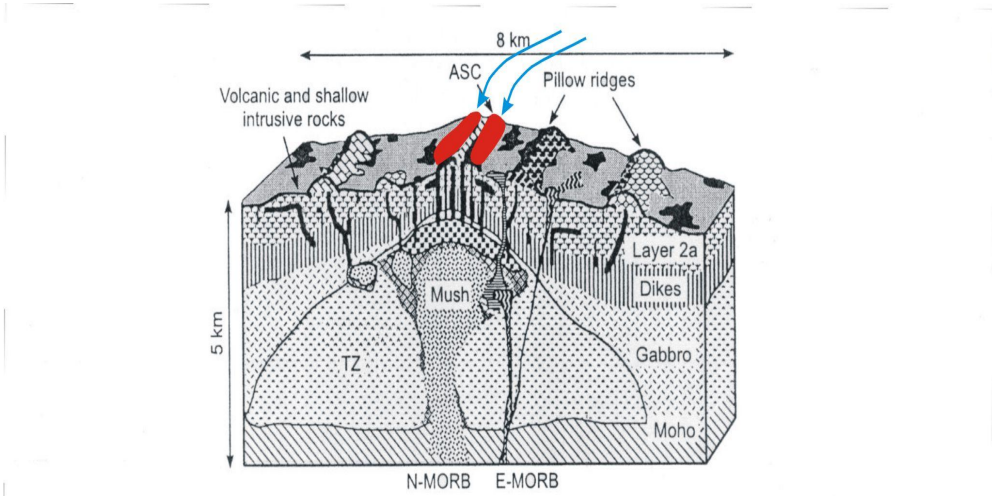
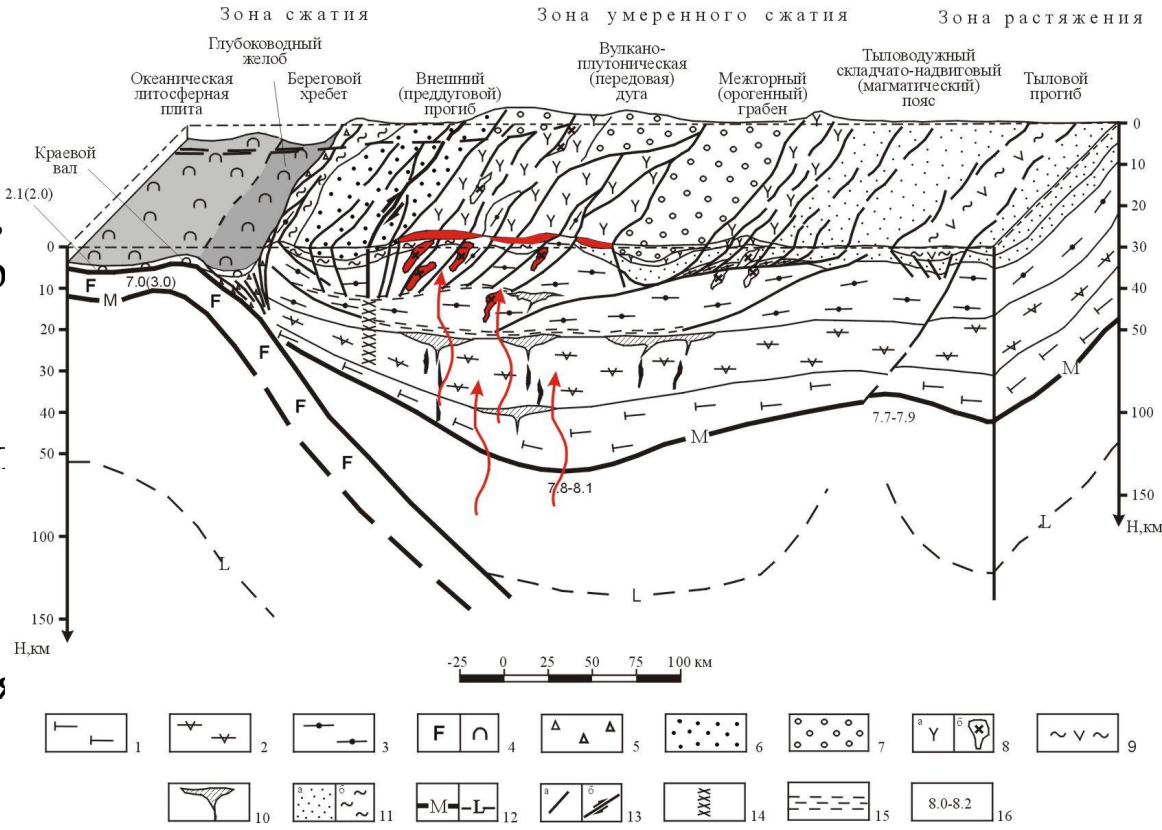


Рис. 6.6. Строение океанической коры участка 9°31′ (см. рис. 6.5) с учетом модели магматической камеры, представленной в работе [Sinton, Detrick, 1992]. Показано сложное асимметричное распределение лав, даек и силлов вне осевой кальдеры (ASC). Часть лав происходит из промежуточной зоны (TZ) или в результате смешения с глубинными расплавами типа E-MORB [Perfit et al., 1994].

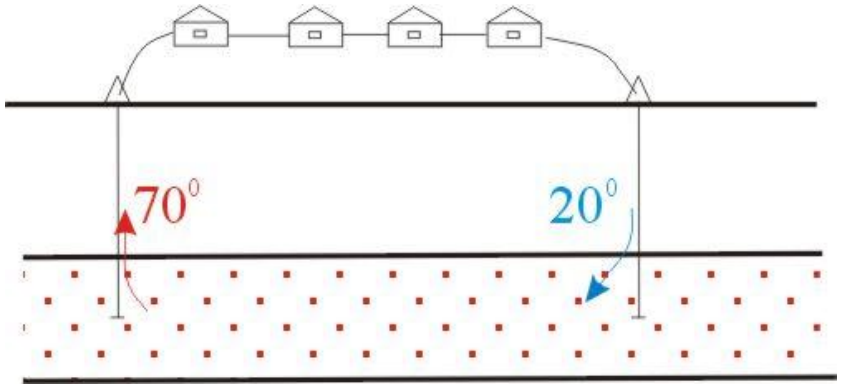
1. Натуральный пар.

- Используется в областях, где горячая вода достигает поверхности достигает поверхности Земли – областях современного вулканизма (Камчатка, Калифорния, Италия, Япония, Китай, Филиппины и др
- Большинство электростанций производит пар, сжигая энергоносители, который двигает турбины генератора. В геотермальных энергетических установках пар непосредственно извлекается из недр Земли.



2. Горячая вода

- Природные горячие воды используются для теплоснабжения городов и поселков на основе организации циркуляционных систем.
- г. Саусхэмптон (Англия) вода при температуре 70^0 С забирается из песчаников на глубине 1.7 км и используется для отопления домов центра города в радиусе 2 км. Аналогично используется тепло в Парижском бассейне.



3. Горячие сухие породы

- Температуры, необходимые для создания циркуляционных систем, достигаются на доступных для бурения глубинах, но отсутствуют пористые отложения (юг Санкт-Петербурга).
- В этих условиях главная проблема – создание искусственной трещиноватости.

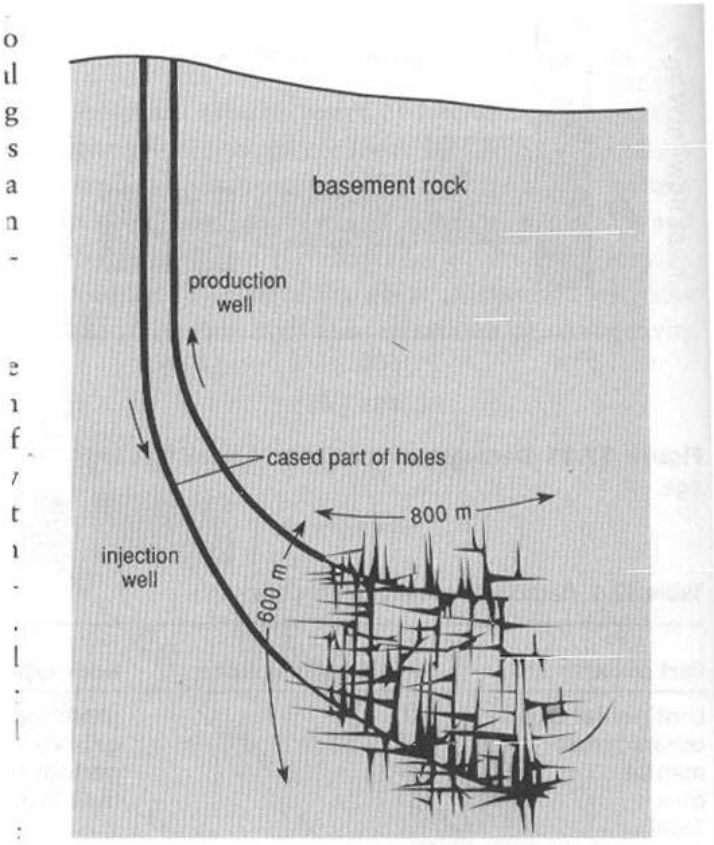
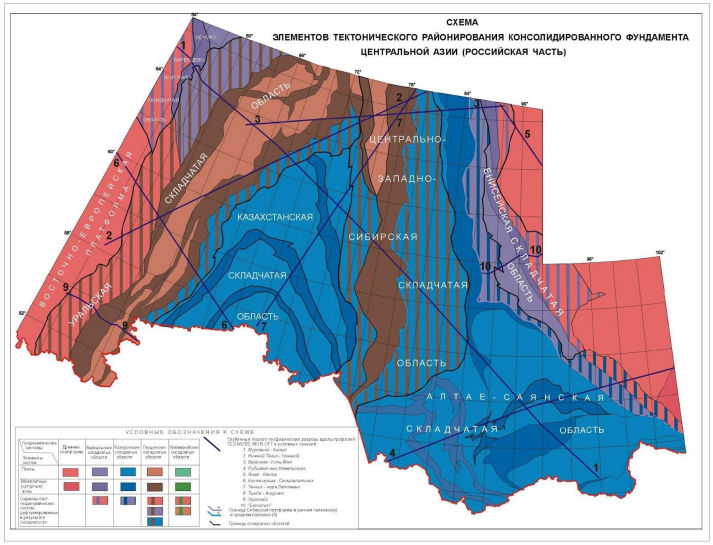
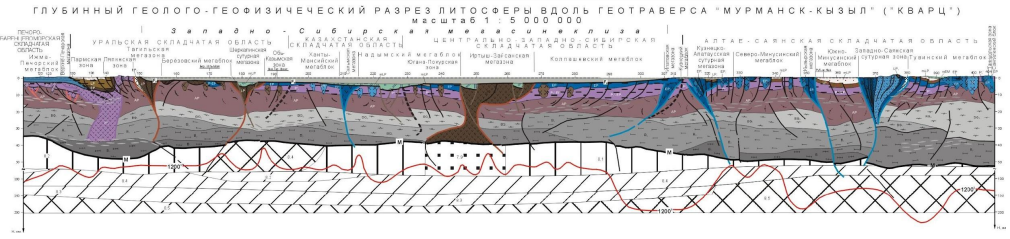


Figure 17.12 Hot, dry rock heat-extraction system.

Геотермические модели территории РФ





- На территории РФ выполнено несколько тысяч геотермических измерений. Проведены обобщения геотермических данных в форме:

- Карта теплового потока территории СССР (1989, 1992),

- Серия расчетных температурных разрезов литосферы вдоль геотраверсов.

- Региональные геотермические карты.

- Карта геотермальных ресурсов территории РФ. (оценка ресурсов в тоннах условного топлива).

- БД «Геотермика» ВСЕГЕИ.
- БД по Мировому океану - ВНИИОкеангеология

Выводы о параметрах структуры и состава литосферы по геотермическим данным.

- 1. Важнейшим результатом геотермического моделирования является выделение в составе земной коры и верхней мантии - областей частичного плавления. Плавление происходит там, где:

$$T_{гп} > T_c$$

$T_{гп}$ – температура породы

T_c – температура солидуса (плавления).

Главный объект моделирования – астеносфера. В рассмотренном уравнении в качестве T_c принимаются солидусы оливин-базальтовых и пикритовых пород – наиболее легкоплавких компонент мантии. В зависимости от глубины в качестве температур солидуса принимаются:

0 км – 1080^0,

50 км – 1200^0,

150 км – 1550^0,

200 км – 1700^0,

250 км – 1840^0.

Выводы о параметрах структуры и состава литосферы по геотермическим данным.

- 2. Оценка количества расплава в астеносфере выполняется по превышению $T_{гп}$ над $T_{с}$. Принято, что превышение 2000 обеспечивает 15-20% плавления. Зоны частичного плавления поднимаются высоко в литосферу и даже в кору.
- 3. По тепловому потоку резко различаются разновозрастные складчатые области и древние платформы.