

Ф.Э. АРЭ, Д.Н. ТОЛСТЯКОВ

*Институт мерзлотоведения Сибирского отделения АН СССР*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОРИИ ПОДЗЕМНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ГЕОТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Известно, что в кайнозойской эре происходило охлаждение поверхности Земли, которое примерно в начале четвертичного периода вызвало широкое развитие оледенения на нашей планете. При этом происходило глубокое промерзание земной коры, вследствие которого формировались толщи многолетнемерзлых горных пород, называемые иногда вечной мерзлотой.

Основными характеристиками многолетнемерзлых толщ являются их мощность и температура, которые определяются величиной внутриземного потока тепла, свойствами горных пород и тепловым балансом поверхности. Из трех названных факторов первые два относительно стабильны; поэтому изменения мощности и температуры многолетнемерзлых толщ во времени происходят в основном под влиянием изменений теплового баланса, иными словами, вследствие изменения поверхностных условий.

В прибрежной зоне Арктического бассейна многолетнемерзлые толщи неоднократно оказывались то под дном моря, то на суше в результате морских трансгрессий и регрессий [*Баранова и Бискэ, 1964*]. При этом существенно изменялся тепловой баланс поверхности, а следовательно, менялись мощность и температура многолетнемерзлых горных пород.

Современная мощность многолетнемерзлых толщ на побережьях арктических морей достигает 500 м и более. Расчеты показывают, что для промерзания, или оттаивания горных пород на такую глубину требуются десятки тысяч лет [*Редозубов, 1966*]. Поэтому современная мощность вечной мерзлоты может скрывать в себе информацию об изменениях определяющих ее факторов, которые происходили в течение верхнего плейстоцена и голоцена.

Легко показать, что распределение температуры в мерзлой толще по глубине может сохранять следы изменений теплового баланса поверхности, которые произошли несколько тысяч лет тому назад, например во время последнего климатического оптимума.

Тепловой баланс поверхности и другие факторы, определяющие мощность и температурный режим многолетнемерзлых толщ, в настоящее время поддаются количественному учету. Разработана теория промерзания и протаивания горных пород. Поэтому принципиально возможно проведение аналитических расчетов и моделирования процессов развития многолетнемерзлых толщ в прошлом и прогноз их будущего развития.

В частности, такие расчеты возможны для прибрежной зоны Арктического бассейна, где они могут дать сведения о перемещениях берегов и изменениях климатических условий за последние 20-30 тыс. лет.

Первая работа, посвященная рассматриваемой проблеме, опубликована в 1957 г. американским ученым Артуром Х. Лакенбруком [*Lachenbruch, 1957*], который предложил аналитическое решение задачи об изменении температурного поля горных пород вследствие перемещения берега моря и на его основе сделал некоторые количественные выводы о передвижениях береговой линии и скорости поднятия суши в голоцене, а также о современной мощности многолетнемерзлых толщ под дном моря в районе мыса Барроу на Аляске и о. Корнуоллис в Канадском архипелаге.

Лакенбрук предельно упростил задачу, приняв, что береговая линия перемещается из бесконечности в конечное положение внезапно, а средние за год температуры поверхности суши и дна моря постоянны. Рельеф местности не принимался во внимание. Решение получено для линейного уравнения теплопроводности и, следовательно, не учитывает фазовых переходов воды, содержащейся в горных породах. Благодаря таким допущениям, решение получено в очень простой форме и его применение не требует громоздких вычислений.

Пренебрежение теплом фазовых переходов, вообще говоря, может привести к недопустимым ошибкам (при использовании решения Лакенбрука). Однако для горных пород с малым содержанием влаги это не имеет существенного значения. Кроме того, при отрицательной температуре вод Арктического бассейна многолетнемерзлые горные породы, оказавшиеся под дном моря, не оттаивают сверху. Поэтому во многих случаях пренебрежение теплом фазовых переходов не вносит больших ошибок, и использование соответствующих аналитических решений допустимо.

Авторами проведена некоторая работа по уточнению решения Лакенбрука. В береговой зоне арктических морей в пределах глубин от 0 до 2,5-3,0 м выделяется полоса, на которой ледяной покров смерзается с дном. Ширина этой полосы ( $L$ ) у мелководных берегов, например, моря Лаптевых измеряется сотнями метров, а иногда и километрами. Средние годовые температуры дна в пределах этой полосы повышаются в сторону моря от температуры поверхности суши до температуры дна на глубине более 3 м. Авторами получено решение для внезапного перемещения берега вследствие регрессии или трансгрессии моря из бесконечности и на конечное расстояние с учетом наличия такой переходной полосы. При этом в первом приближении считалось, что в ее пределах температура дна изменяется прямо пропорционально расстоянию от берега.

Дальнейшее уточнение состояло в том, что внезапное перемещение берега из начального положения в конечное было заменено постепенным перемещением с постоянной скоростью. В конечном итоге получены аналитические зависимости, которые позволяют приблизительно рассчитывать изменения температурного поля горных пород при любых перемещениях берега моря и изменениях климата без учета тепла фазовых превращений воды, содержащейся в горных породах. Уточнения, внесенные в постановку задачи, естественно, усложнили полученные аналитические выражения. Поэтому их использование требует применения счетных машин.

Выведенные зависимости могут быть применены в различных целях, и, в частности как одно из средств изучения кайнозойской истории развития Арктического бассейна. С их помощью на основе результатов геотермических измерений в скважинах, пробуренных на побережье и на дне моря, могут быть получены данные о возрасте берегов и их перемещениях за последние 20-30 тыс. лет. Методом подбора могут восстанавливаться климатические условия и их изменения в течение такого же периода, а также могут корректироваться сведения о перемещениях берега моря и климатических изменениях, полученные другими методами. Задаваясь климатическими условиями и данными о перемещениях берегов, можно реконструировать историю развития подземного оледенения Арктического бассейна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова Ю.П., Бискэ С.Ф. (1964). Северо-Восток СССР. Из кн. «История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока». М.
2. Редозубов Д.В. (1966). Геотермический метод исследования толщ мерзлых пород. М.
3. Lachenbruch A.H. (1957). The heat influence of the ocean on the permafrost. Bull. of the Geolog. Soc. of America, vol. 68.

**Ссылка на статью:**



**Арз Ф.Э., Толстяков Д.Н. Исследование истории подземного оледенения Арктического бассейна геотермическим методом // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Гидрометеиздат, Ленинград, 1970, с. 500-502.**