

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ЛЬДА В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ICE RESERVES IN THE PERMAFROST OF THE BOLSHHEZEMELSKIY ARTESIAN BASIN

ХИЛИМОНЮК В.З., БУЛДОВИЧ С.Н.,
ОСПЕННИКОВ Е.Н., ГОРШКОВ Е.И.

Кафедра геокриологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, vanda@geol.msu.ru

HILIMONIUK V.Z., BULDOVICH S.N.,
OSPENNIKOV E.N., GORSHKOV E.I.

The geocryology department of the geology faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow

Ключевые слова:

Европейский Север России, Большеземельский артезианский бассейн; многолетнемерзлые породы; запасы льда; количественная оценка; геокриологические районы; геокриологическое районирование.

Key words:

European North of Russia; Bolshezemelskiy Artesian Basin; permafrost; ice reserves; quantitative assessment; permafrost regions; permafrost zoning.

Аннотация

В статье проводится количественная оценка запасов льда в многолетнемерзлых породах (ММП) в пределах Большеземельского артезианского бассейна, находящегося на территории Европейского Севера России (для выделенных геокриологических районов и для всей исследуемой территории в целом).

Введение

Количественная оценка запасов льда в многолетнемерзлых породах на территории Большеземельского артезианского бассейна, находящегося на Европейском Севере России, представляет значительный интерес, поскольку в случае деградации мерзлых толщ, вызванной глобальными климатическими изменениями, замерзшая вода будет высвобождаться, пополнять статические запасы подземных вод в гидрогеологических структурах и участвовать в подземном водообмене.

Общая оценка посткриогенной гидрогеологической обстановки является чрезвычайно сложной и многофакторной проблемой, и в рамках данного исследования она не рассматривается. Однако количественное определение объема подземных вод, иммобилизованных в настоящее время в пределах замороженной части геологического разреза, может быть с достаточно высокой степенью детальности осуществлено на основе обобщения данных о геокриологических условиях и районирования территории.

Abstract

The article quantitatively estimates the ice reserves in the permafrost within the Bolshezemelskiy Artesian Basin territory that locates in the European North of Russia (for the singled out permafrost areas and the whole investigated territory).

Методика оценки запасов льда в многолетнемерзлых породах

Методически количественная оценка запасов льда в многолетнемерзлых породах на территории Большеземельского артезианского бассейна осуществлялась следующим образом.

На первом этапе была составлена схематическая карта (М 1:500 000) геокриологического районирования исследуемой территории. Потом на ее основе была проведена количественная оценка содержания подземных льдов.

Основной целью геокриологического районирования являлась оценка исследуемого региона в отношении возможности пополнения запасов подземных вод в случае многолетнего оттаивания многолетнемерзлых толщ. Это определило особенности геокриологического районирования, его направленность преж-



де всего на криолитологическую характеристику толщ многолетнемерзлых пород и оценку их льдосохранения.

Для составления карты геокриологического районирования исследуемой территории были использованы имеющиеся для нее литературные и фондовые материалы геологического, геокриологического и картографического (космо-, аэрофотоснимки и др.) содержания [2, 4], а также материалы, содержащие сведения об условиях формирования, характере распространения, мощности, льдистости и температурном режиме толщ многолетнемерзлых пород, включая результаты геофизических исследований.

Для территории Большеземельского артезианского бассейна характерны значительные изменения геокриологических условий как в широтном, так и в меридиональном направлениях. Распространение и температура мерзлых и талых пород подчиняются широтной зональности. На фоне общей геокриологической зональности отмечаются региональные и локальные отклонения от нее, обусловленные воздействием комплекса природных факторов.

Строение криолитозоны и глубина многолетнего промерзания пород в целом и применительно к рассматриваемой территории связаны с условиями теплообмена на поверхности в течение плейстоцен-голоценового этапа геологического развития. В южной части исследуемой территории температура пород и их мощность в основном соответствуют современным условиям теплообмена. Но к северу мощность многолетнемерзлых пород (ММП) последовательно увеличивается от первых десятков метров до 400–500 м. Однако и в южных районах исследуемой территории существуют непротаявшие плейстоценовые толщ на глубине 30–150 м от поверхности. Они приурочены к районам с мощной толщей рыхлых отложений и либо образуют вместе с голоценовыми многолетнемерзлыми породами «двухслойную мерзлоту», либо залегают под тальми породами (т.е. представляют собой ММП с заглубленной кровлей). В северной подзоне плейстоценовая динамика условий теплообмена не приводила к многолетнему оттаиванию пород с поверхности, поэтому мерзлым толщам в ее пределах свойственны сплошное (непрерывное) распространение ММП по вертикали и большие мощности [1, 2, 3].

Отчетливо проявляется зональность и в распространении отрицательнотемпературных пород в целом. На юге исследуемой территории криолитозона представлена в основном только мерзлыми (содержащими лед) породами, т.к. их мощность в артезианской структуре меньше глубины залегания соленых вод и рассолов. На севере в пределах низких морских террас ярус мерзлых пород обычно подстилается или замещается охлажденными ниже 0°C породами, не содержащими в себе кристаллического льда.

По особенностям криогенного строения и льдистости прежде всего отчетливо выделяются, с одной стороны, скальные и полускальные породы, а с другой — рыхлые четвертичные отложения и образования. Для скальных пород с жесткими связями и слабыми трещиноватостью и пустотностью характерны малая льдистость, не превышающая нескольких процентов от объема и, как правило, невозможность перерас-

пределения подземной влаги в ходе промерзания и оттаивания пород. При этом некоторые различия в криолитологических свойствах свойственны и основным разновидностям скальных пород — магматических, метаморфических или осадочных. В рыхлых отложениях льдонасыщенность является следствием состава пород, их генезиса и диагенетических преобразований.

На характер криогенного строения и льдистость также накладывает отпечаток и возможность миграции влаги при изменении термовлажностных полей в ходе многолетнего промерзания или оттаивания пород, и даже при изменении только температурных полей. В результате криогенное строение не просто наследует дефектные зоны в породах (в основном полости и пустоты), а возникают особые типы криогенных текстур, обусловленные миграцией влаги при промерзании. При этом изменяется и первичное распределение влаги в толще рыхлых пород, для которых в целом свойственна значительно более высокая влажность, изменяющаяся от 5–10 до 90–95%. Таким образом, состав и строение пород являются одними из важнейших признаков типизации геокриологической обстановки.

Существенные различия существуют и в строении самой мерзлой толщ. Так в зоне островного распространения она в основном одноярусная и представлена эпикриогенными дисперсными или скальными породами. В зонах массивно-островной мерзлоты и ММП прерывистого распространения в силу большой мощности и низкотемпературного режима она нередко состоит из эпикриогенных дисперсных пород, подстилаемых скальными. В наиболее северных районах достаточно широко начинают проявляться синкриогенные породы, которые снизу подстилаются эпикриогенными толщами. Для пород здесь характерна высокая льдистость и включения залежеобразующих льдов (повторно-жилых, инъекционных, сегрегационных), которые, в свою очередь, существенно увеличивают суммарную льдистость толщ. На арктическом побережье эти породы, как правило, подстилаются охлажденными породами и криопэгами.

Перечисленные выше особенности и закономерности строения многолетнемерзлых толщ были использованы в качестве основных признаков для выделения типичных криолитологических разрезов и оценки содержащегося в них льда (исходя из льдистости разреза и отдельных его горизонтов, а также их вертикальной мощности). Такая оценка, основанная на представлениях о пространственном развитии определенного типа криолитологического разреза, позволила оценить с определенной степенью точности и общие запасы льда в многолетнемерзлых породах Большеземельского артезианского бассейна.

Криогенная характеристика генетических типов отложений была направлена на описание и оценку макровключений льда, определяемых влажностью и составом пород, и также на указание типа промерзания — сингенетического или эпигенетического. Оценка криолитологической характеристики проводилась для всех ярусов многолетнемерзлых пород, что затем учитывалось при подсчетах общих запасов подземного льда, объем которых после оттаивания мерзлых толщ может

быть отжат из горных пород в виде воды и таким образом пополнить запасы подземных вод.

В процессе работы было установлено, что дифференциация льдистости пород по основным генетическим комплексам отложений (в т.ч. и по вертикальному разрезу) изменяется преимущественно в сравнительно узких рамках — в пределах 0,05–0,25 д.е. Поэтому мощность мерзлых пород является показателем льдонасыщения толщ рыхлых отложений в целом.

Важной особенностью вертикального строения мерзлых толщ является горизонт реликтовой мерзлоты, приуроченный в основном к областям островного по площади распространения многолетнемерзлых пород. Он залегает на глубине 100–200 м от земной поверхности и имеет вертикальную мощность до 200 м и более.

Другим важным фактором является характер распространения многолетнемерзлых толщ по площади. Его сложная пространственная картина обусловлена совместным взаимодействием ландшафтно-климатических условий, рельефа, состава и свойств пород, гидрологической и гидрогеологической обстановок, а также историей его развития в неоген-плейстоценовое время. С другой стороны, распространение мерзлых толщ и таликов связано с зональными условиями теплообмена на земной поверхности. Последняя группа факторов нашла свое проявление в том, что характер площадного распространения ММП выражается в существовании субширотных поясов, внутри которых существует определенное соотношение между площадями развития талых и мерзлых пород. На рассматри-

ваемой территории выделяются следующие пояса, или области:

- распространения охлажденных отрицательнотемпературных пород;
- преимущественно сплошного распространения мерзлых толщ (более 95% от общей площади S);
- прерывистого распространения ММП (75–95% от S);
- преимущественно массивно-островного распространения ММП (50–75% от S);
- островного распространения ММП (25–50% от S);
- редкоостровного распространения ММП (менее 25% от S);
- преимущественно талых пород с отдельными островами и мерзлыми перелетками.

Оценка осуществлялась на основе выполненного геокриологического районирования (см. рисунок) с определением процентного соотношения площадей развития мерзлых и талых пород. Кроме того, на приморских участках с высокой засоленностью пород учитывалось соответствующее снижение их льдистости. Совокупность сведенных в колонки данных позволила для каждой из них рассчитать общее количество льда, содержащегося во всем разрезе ММП, отнесенное к единице площади поверхности земли (эта величина, имеющая размерность $\text{м}^3/\text{м}^2$, или м, может рассматриваться как мощность слоя чистого льда, количество которого эквивалентно его общему содержанию во всем разрезе ММП).

Далее определялась площадь каждого контура распространения определенного генетического типа отложений и путем умножения полученного значения

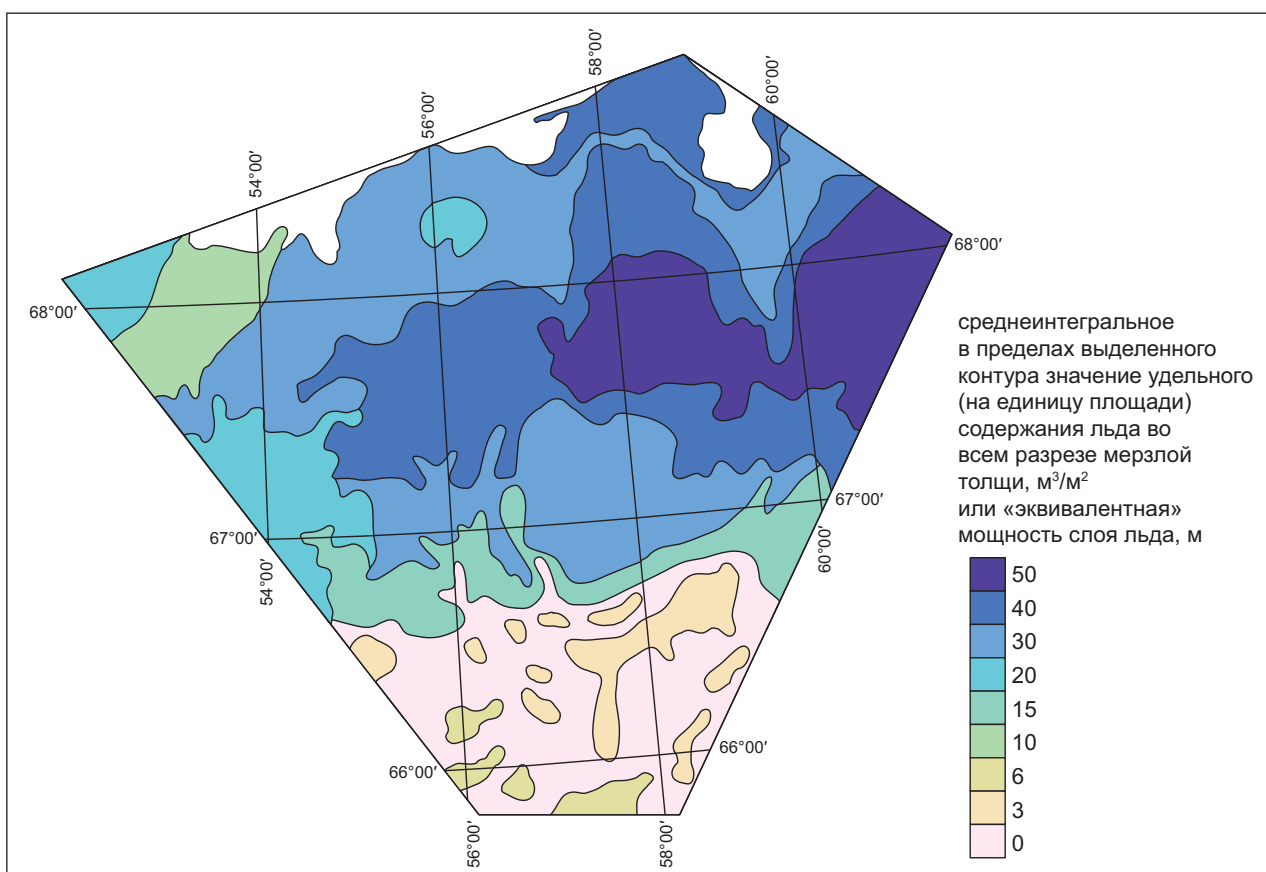


Рисунок. Схема районирования территории Большеземельского арктического бассейна по содержанию льда в мерзлых породах



на величину «эквивалентной мощности» льда в пределах этого контура находился общий объем льда, залегающего в этих границах, соответствующий количеству подземных вод, выключенных из гидрогеологического разреза в результате многолетнего промерзания пород.

Как и следовало ожидать, величина общего льдосодержания в ММП существенно меняется в пределах исследуемой территории (мощность «эквивалентного» слоя льда варьирует от первых метров до 50–60 и даже 70 м).

Полученные характеристики льдосодержания для участков внутри отдельных контуров распространения генетически различных отложений усреднялись в пределах наиболее мелких единиц районирования — районов. Анализ полученных площадных характеристик удельного льдосодержания показывает, что в целом эта величина «управляется» геокриологическими условиями — чем более сурова мерзлотная обстановка (чем выше мощность и сплошность ММП), тем больше «эквивалентная мощность» льда.

Надо отметить, что указанная общая закономерность изменения льдосодержания в массивах ММП нередко нарушается. Это происходит в первую очередь за счет такого геологического фактора, как близкое к поверхности залегание скальных пород. В этом случае малая мощность рыхлых льдистых отложений определяет относительно небольшое льдосодержание в многолетнемерзлых породах, несмотря на высокую общую мощность последних. На закономерности распространения суммарного льдосодержания в мерзлых

толщах по площади также влияют наличие реликтового слоя ММП и его характеристики.

Результаты

В процессе данной работы было определено, что общий объем льда в многолетнемерзлых породах на всей исследованной территории в пределах Большеземельского артезианского бассейна составляет огромную величину — порядка 2300 км³. При площади геокриологического районирования 87 900 км², средняя мощность «эквивалентного» слоя льда на этой территории составляет около 26,2 м. При среднем расходе в устье одной из крупнейших рек Арктики Печоры 127 км³/год (4000 м³/с) запасов льда в ММП на рассматриваемой площади хватит на обеспечение стока этой реки в течение 18 лет. ❄

Список литературы

1. Геокриология СССР. Европейская территория СССР / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1988. 358 с.
2. Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 / под ред. Э.Д. Ершова. Винница. Украина: Картпредприятие, 1997. 16 л.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001.
4. Оберман Н.Г. История формирования многолетнемерзлых пород Полярного, Приполярного и Северного Урала // История развития многолетнемерзлых пород Евразии (на примере отдельных регионов). М.: Изд-во АН СССР, 1981. С. 73–78.

ЖУРНАЛ

о людях
о землетрясениях
о неустойчивых склонах и оползнях
о вулканах
о наводнениях и ураганах
...
о прогнозировании и предупреждении ЧС
о важности работы изыскателей

ЖУРНАЛ
ГеоРиск

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095
e-mail: pr@geomark.ru