

**ВЛИЯНИЕ ЭПОХ ОЛЕДЕНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕСНЫХ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****А.А. Ястребов, А.И. Ковальчук**

Характерной особенностью развития пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), приуроченных к песчаным и глинистым рыхлым осадкам олигоцен-четвертичного возраста, является региональное распространение маломинерализованных ( $70\text{--}150\text{ мг/дм}^3$ ) ультрапресных вод [Иванов и др., 1997].

История геологического развития рассматриваемой территории в олигоцен-четвертичное время позволяет рассмотреть связь широкого развития ультрапресных вод с существованием оледенения шельфового типа, охватывающего Карское море, а по мнению ряда исследователей, распространяющегося и на всей акватории Ледовитого океана [Имбри Дж., 1988].

За последние десятилетия накоплена обширная информация по влиянию олигоцен-четвертичных оледенений на формирование рельефа, гидрографической сети, литологии, тектоники и гидрогеологических условий [Авсюк, 1964; Анисимова, 1973; Архипов, 1960; Имбри Дж., 1988]. В первую очередь это касается территорий, охваченных современными четвертичными оледенениями, в частности Западно-Сибирской мегасинеклизы. Исключительно большую роль в развитии представлений о характере оледенений имели результаты гляциологических исследований, выполненных международным коллективом ученых в Антарктиде.

Несмотря на исключительную масштабность оледенений, которые происходили за сравнительно короткий (около 3 млн лет) промежуток времени, комплексная оценка последствий на геологическую среду в современной литературе отсутствует. Настоящей работой преследуется цель хотя бы частично выполнить этот пробел.

Территория ЯНАО была подвержена двум оледенениям: самаровское покровное (около 170–230 тыс. лет назад) и зырянское (завершилось около 10 тыс. лет назад) [Архипов, 1971]. Наибольший интерес для нас представляет зырянское оледенение, т.к. оно являлось последним и способствовало заложению истоков речной сети округа.

**Позднеплейстоценовое  
(зырянское) оледенение**

Позднеплейстоценовое (зырянское) оледенение на территории округа началось около 70 тыс. лет назад. Его история подразделяется на три стадии: нижнезырянский (ермаковский горизонт) – ледниковье; среднезырянский (каргинский) – межгляциал; верхнезырянский (сартанский горизонт) – ледниковье. Длительность нижнезырянского оледенения составляет  $35400 \pm 300$  лет, верхнезырянского –  $9200 \pm 40$  лет [Архипов, 1971]. Ледниковый покров в пределах ЯНАО был представлен шельфовыми, морскими, прибрежно-морскими, континентальными, горными (горно-складчатый Урал, Новая Земля) и купольными (Таймыр) разностями ледников. Граница ледника не доходила до Сибирских увалов и располагалась вдоль линии: г. Салехард–низовья р. Надым–Ниж. Тунгуска. В периоды максимальных оледенений мощность ледовых накоплений достигала 3-х и более километров. Так как ледниковый покров формировался за счет атмосферных осадков, уровень воды в мировом океане понижался до 100 м. В своей эволюции осадки в виде снега превращались в лед с удельным весом до 0,8, в то время как пресная вода имеет удельный вес, близкий к единице. Естественно, такой мощный ледниковый покров оказывал изостатическое влияние в первую очередь на осадочный чехол платформы и служил причиной пликативных и дизъюнктивных нарушений. Отложения зырянского оледенения представлены перигляциальными, аллювиальными и озерными осадками.

На протяжении зырянского оледенения климат не был постоянным. Периодически наступали потепления, ледник таял по краю, отступал на север, сокращались площади высокогорных льдов, смещались на юг климатические зоны. Таких изменений в климате было несколько, но наиболее холодный, сухой и суровый период был около 20 тыс. лет назад (рис. 1).

Во время максимума позднезырянской ледниковой стадии (в период таяния ледника) южнее края ледника фиксируется последняя фаза Мансийского приледникового «озера-моря». Большие массы талой воды, образуя-

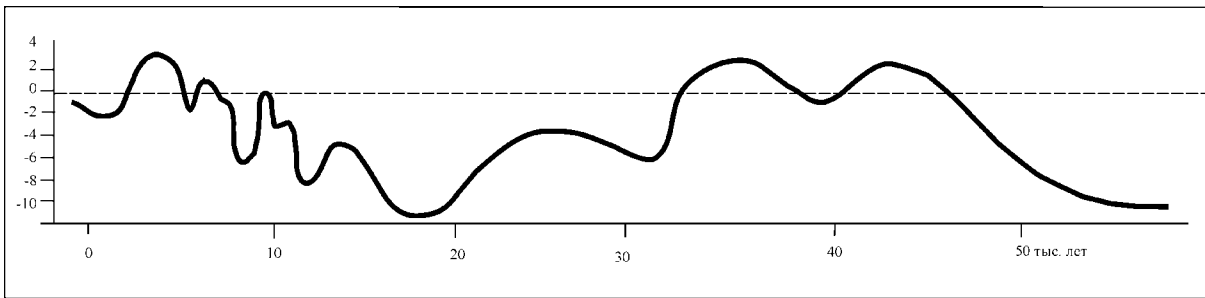


Рис. 1. Климатические изменения в Сибири за последние 50 тыс. лет.

щиеся при таянии ледников, устремлялись в равнинную часть Западной Сибири, образуя обширные пресноводные подпрудные бассейны, сопоставимые с континентальными морями. Хорошо промытые аллювиально-озерные и речные отложения практически были лишены растворимых солей. Естественно, в этих отложениях формировались подземные воды низкой минерализации.

Некоторые исследователи отрицают сам факт существования данной трансгрессии. Накопленные данные свидетельствуют, что эта трансгрессия существовала. Максимальный уровень ее достигал абсолютной отметки 130 м. Известны разнообразные осадки озерного типа. На отметке 100 м и

ниже – глубоководные осадки, 120-130 м – прибрежные (пески, супеси).

Сплошной ледниковый фронт на севере Западной Сибири и подпрудные озерные внутриконтинентальные бассейны были взаимно обусловленными компонентами природной обстановки максимума позднезырянского оледенения. По представлениям И.А.Волкова с соавторами [1978] существовали три крупных самостоятельных приледниковых бассейна: на востоке – Енисейский, севернее Сибирских увалов – Пуровский и в центральных частях Западной Сибири – Мансийский (рис. 2). Пуровский бассейн имел связь с Мансийским по относительно широкому Пурагинскому проливу (рис. 3). Уровни обоих бассейнов были практически одинаковыми (около 125-130 абс. м).

Западно-Сибирские реки не всегда текли на север [Имбри Дж., Ипмбри К., 1988]. В плейстоцене речная сеть неоднократно перестраивалась, и возникали условия для юго-западного стока, при котором Тургайская ложбина выполняла роль генеральной дрены. Последний раз это было 20-18 тыс. лет назад. Шельф Карского моря промерзал до глубины 400-600 м и на нем формировался ледниковый купол. Речной сток имел резко выраженный импульсивный характер и формирование как речной сети, так и подземного сто-

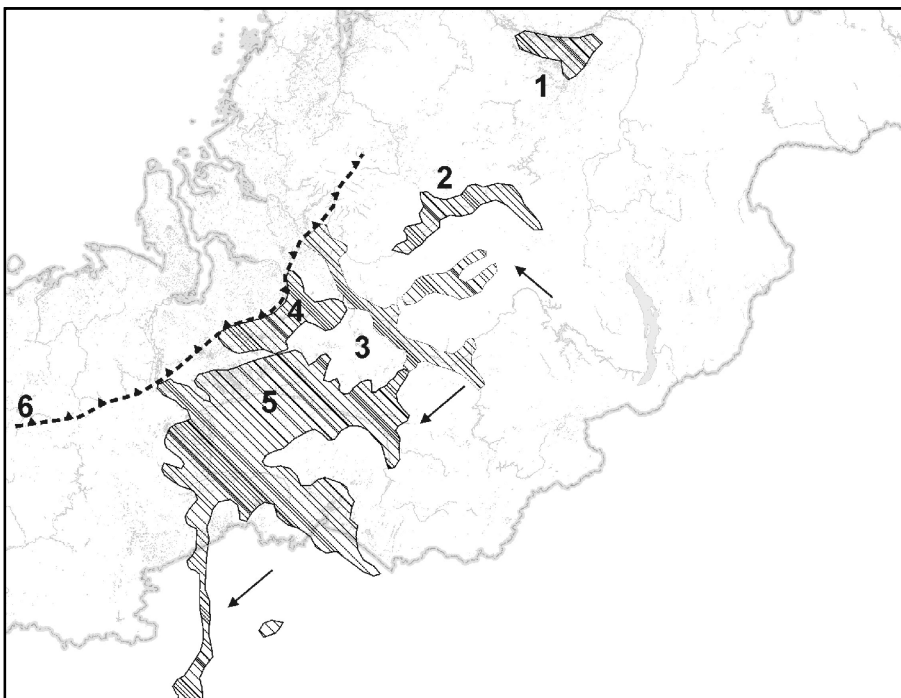


Рис. 2. Озерные бассейны и система приледниковых вод Сибири.

Условные обозначения: 1 – Ленно-Вилуйский озерные бассейны; 2 – Тунгусский; 3 – Енисейский; 4 – Пуровский; 5 – Мансийский; 6 – граница верхнеплейстоценового оледенения; стрелками указаны основные направления стока приледниковых вод.

ка, происходило под несомненным и эффективным влиянием климатических и эвстатических факторов и окончательно оформилось в начале голоцена не ранее 8-9 тыс. лет назад. И.А. Волкова и его соавторы [1978], считают, что Мансийское «озеро-море» во время максимума оледенения (абс. отм. уровня составляли 125-130 м) сбрасывало избыток вод именно по сквозной Убогин-Тургайской долине на юг в сторону Аральского моря. Возможно, это определило возникновение древних цивилизаций в засушливых, ныне аридных областях. Переполнение Аральского и Каспийского морей, уровень которых на 60-80 м превышал современный, запечатлелось в памяти человечества в преданиях о всемирном потопе.

### Многолетнее вымораживание в периоды оледенений

Для территории ЯНАО в формировании ультрапресных вод огромную роль, наряду с существованием подпрудных пресноводных водоемов, играли процессы вымораживания, активизировавшиеся в периоды межледниковья. Следует подчеркнуть, что в периоды потеплений ледниковый покров полностью не исчезал, и прогрессивная деградация мерзлотных явлений, в частности многолетней мерзлоты, осуществляется и в настоящий период.

В периоды похолоданий происходило формирование многолетней мерзлоты и протекание процессов вымораживания. В процессе вымораживания происходила дифференциация химического состава, в результате чего образовавшийся лед содержал ультрапресную воду (~ 70 % всей влаги). В то время как межкристаллическая вода обогащалась гидрокарбонатами и сульфатами. Аналогичный процесс происходит и при современном вымораживании в пределах деятельного слоя.

Вымораживание – процесс выделения компонента в твердом виде (льда) при охлаждении [Химическая..., 1988]. В природных условиях понятие криогенез объединяет процессы, приводящие к образованию и развитию мерзлых пород и вымораживанию пластовых вод. На первых фазах криогенеза происходит кристаллизация почти всех веществ, в том числе и воды, что сопровождается увеличением

плотности и уменьшением объема. В литературе объем публикаций, посвященных явлению вымораживания, сравнительно ограничен.

При температуре  $+3,98^{\circ}\text{C}$  плотность воды максимальна. По мере дальнейшего охлаждения плотность образовавшегося льда уменьшается, причем особенно резко это происходит на стадии замерзания. Кристаллы природного льда гексагональные, поэтому упаковка льда рыхлая и с пустотами. В результате объем воды в твердой фазе возрастает до 9% и более по сравнению с жидкой. Контрастное увеличение объема при переходе воды в лед влечет за собой рост объема водовмещающих пород. В результате промерзания водоносных горизонтов возникают аномальные гидравлические давления, под воздействием которых происходит растрескивание мерзлых пород и увеличение их проницаемости.

Длительное время считалось, что водоносные горизонты, находящиеся в сезонном и особенно в многолетнемерзлом состоянии, полностью консервируются и не подвергаются изменению. В последние годы появились исследования, показывающие, что даже при отрицательной температуре горные породы претерпевают глубокие физико-химические и минералогические изменения. Даже в многолетнемерзлых породах постоянно существует гравитационная вода в жидкой фазе (меж- и подмерзлотные воды). В указанных условиях возникает гидрохимическая дифференциация. Геохимическая деятельность приводит к образованию вторич-

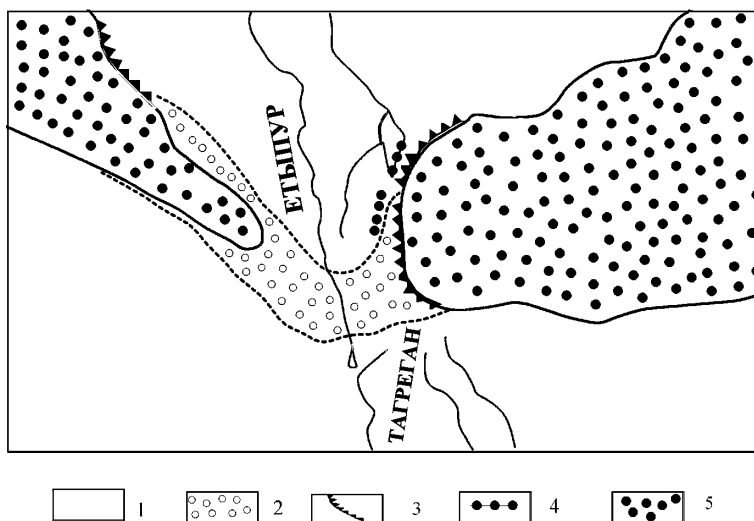


Рис. 3. Древний озерный пролив в верховьях рек Агана и Пура на Сибирских увалах (составил И.А. Волков).

Условные обозначения: 1 – озерная равнина, 2 – прибрежная озерная коса и бар, 3 – береговой вал, 4 – абразионный уступ, 5 – возвышенная равнина.

ных соединений – кальцита, гипса, окислов магния, железа, меди, цинка и т.д. В процессе замерзания подземных вод и кристаллизации льда наблюдается переход части солей в лед, выпадение осадка, увеличение минерализации остаточного жидкого раствора. При этом соленасыщенность льда всегда меньше исходной минерализации. Общий объем жидкой воды после вымораживания оценивается в пределах до 8 %.

Изменение состава подземных вод предопределяется многими факторами: уровнем температуры, скоростью охлаждения, литологией водовмещающих пород, соотношением отдельных компонентов, общей соленасыщенностью. Наиболее значительной метаморфизации подвержены воды, в составе которых в большом количестве содержатся гидрокарбонаты и сульфаты щелочных земель. Исходные слабоминерализованные подземные воды обладают меньшей контрастностью состава твердой и жидких фаз. Более высокая соленасыщенность наблюдается в жидкой фазе, где преобладающими являются гидрокарбонаты, сульфаты и на последней стадии вымораживания – хлориды. В лед переходит минимум солей; лед – это ультрапресное образование гидрокарбонатного типа. В случае оттаивания такого льда происходит частичное возвращение его в раствор. Талые воды по преобладающим ионам являются ультрапресными, минерализация которых значительно меньше исходной воды. При неоднократном вымораживании соленасыщенность талых подземных вод снижается в несколько раз, и они превращаются в ультрапресные. Эти воды аккумулируются под многолетнемерзлыми породами – ниже минерализация возрастает.

Как уже указывалось, характерной особенностью химического состава пресных подземных вод верхнего этажа Западно-Сибирского мегабассейна является их низкая (вплоть до ультрапресной) минерализация и ярко выраженная площадная и вертикальная зональность. Рассматривая геологическую историю развития бассейнов стока, можно сделать вывод, что основным фактором формирования низкой минерализации и широтно-концентрической зональности подземных вод от пресной до ультрапресной, являются процессы криогенной метаморфизации подземных вод вследствие многократного промерзания и протаивания отложений верхнего этажа [Анисимова, 1973]. При практически окончательно сформировавшейся системе

стока северных рек и соответственно подземного стока данного региона в конце плейстоцена-начале голоцена, подземные воды неоднократно промораживались в течение нижнезырянского и верхнезырянского ледниковых периодов и промывались талово-паводковыми водами в межгляциальные периоды.

Таким образом, в период эпох оледенений, вымораживание, наряду с формированием подпрудных бассейнов, обязанных главным образом таянию ледового покрова, является мощным фактором, определяющим широкое распространение ультрапресных подземных вод на территории ЯНАО.

В заключение следует отметить, что многие вопросы, связанные с формированием ультрапресных подземных вод ЯНАО, требуют дополнительных целенаправленных исследований. Представляется бесспорным, что целый ряд признаков, характерных для подземных вод территории ЯНАО, находит логическое объяснение в унаследованности эпох оледенений.

#### *Список литературы*

- Авсюк Ю.Н.* Изостазия и деформация земной коры под нагрузкой (на примере Антарктиды) // Докл. сов. геол. на XXII сессии Междунар. геол. конгр. Наука, 1964. 225 с.
- Анисимова Н.П.* Криогенная метаморфизация химического состава подземных вод // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Вып. 5. Якутск, 1973. С. 5-12.
- Архипов С.А.* Стратиграфия четвертичных отложений, вопросы неотектоники и палеографии бассейна среднего течения Енисея. М.: ГИН АН СССР, 1960. 172 с.
- Архипов С.А.* Четвертичный период в Западной-Сибири. М.: Наука, 1971. 329 с.
- Волков И.А., Гросвальд Н.Г., Троицкий С.Л.* О стоке приледниковых вод во время последнего оледенения Западной Сибири // Изв. АН СССР. Сер. географ., 1978. № 4. С. 25-35.
- Иванов Ю.К., Бешенцев В.А., Ковальчук А.И.* Экологическая оценка ресурсов и качества подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Бюро экологических экспертиз, УрО РАН, отчет в 3 томах. Салехард, 1997 (Фонды).
- Имбри Дж., Имбри К.П.* Тайны ледниковых эпох: Пер с англ. / Под ред Г.А. Авсюка. М.: Прогресс, 1988. 264 с.
- Химическая энциклопедия. Том 1 / Отв. Редактор Кнунянц И.Л.. М.: Советская энциклопедия, 1988. 310 с.