Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, том XXXI, 1955 г.

Проф. Н. И. ТОЛСТИХИН, доц. В. М. МАКСИМОВ

ЯКУТСКИЙ АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН

Якутский артезианский бассейн является одним из крупнейших бассейнов СССР по занимаемой им площади и по мощности слагающих его осадочных толщ, различных по составу, возрасту и происхождению. Площадь бассейна более одного миллиона квадратных километров. Мощность осадочных отложений измеряется километрами.

По площади этот бассейн превосходит Днепровско-Донецкий, Московский, Верхнеленский, Канский, Иркутский, Хатангский, Нижнезейский артезианские бассейны и крупнейший бассейн Западной Европы — Парижский.

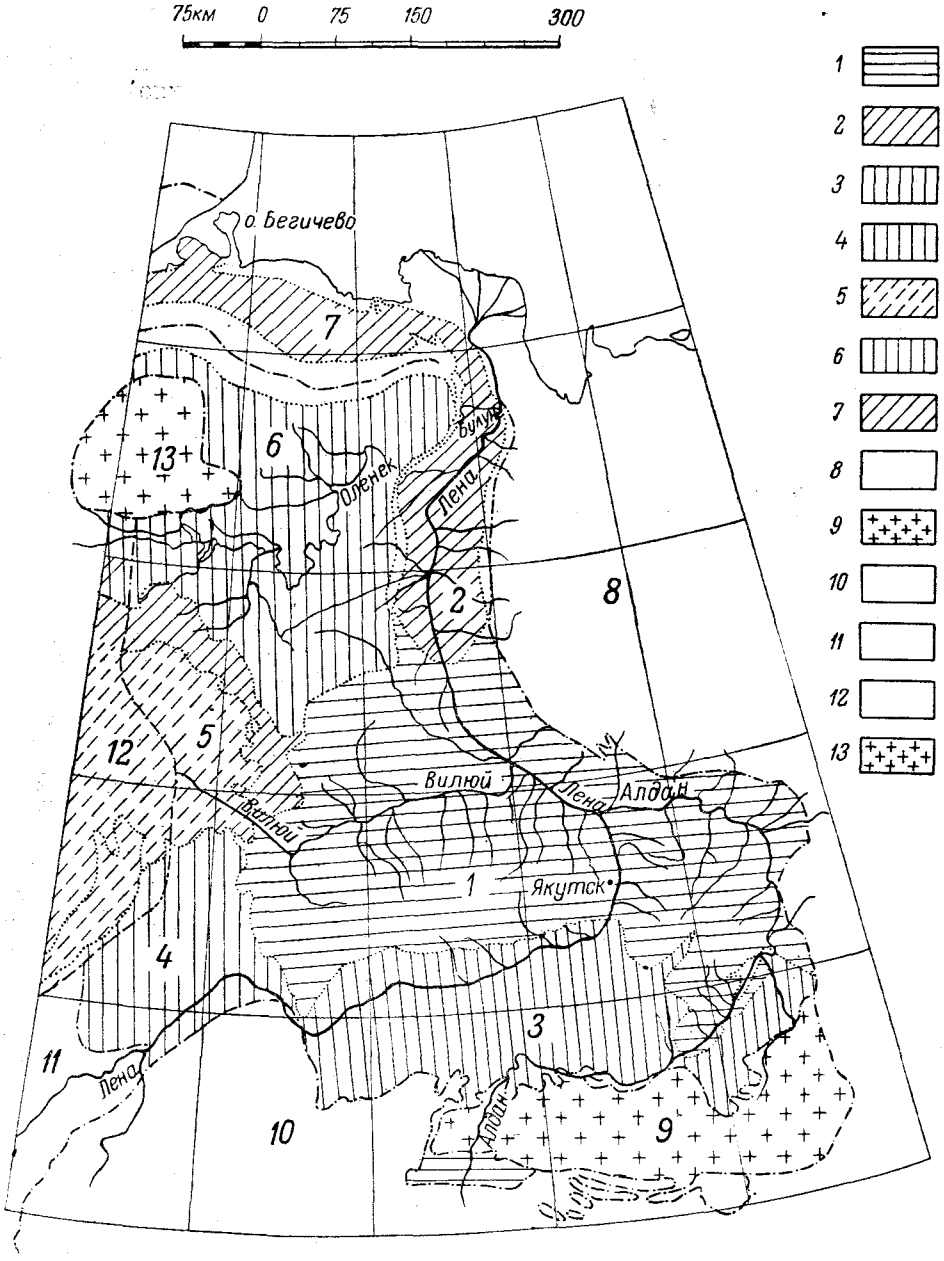
Границами бассейна являются (см. рисунок): на востоке — западные склоны Верхоянского хребта и полоса складчатого кембрия бассейна рр. Юдомы и Маи; на юге — выходы кристаллических пород Алданского массива и Патомо-Витимской горной области; на западе условная граница проводится по тектоническому поднятию кембрия, проходящему на восток от р. Чоны (правого притока р. Витима). Далее на север граница пересекает р. Вилюй и уходит в направлении к Анабарскому массиву, сложенному кристаллическими породами докембрия. На севере Якутский бассейн сливается с Хатангским артезианским бассейном.

Таким образом, Якутский артезианский бассейн занимает центральное положение среди следующих гидрогеологических районов СССР: Хатангского бассейна на севере, Тунгусского бассейна и Анабарского гидрогеологического массива на западе, Верхнеленского бассейна и Алданского гидрогеологического массива на юге и Верхоянской гидрогеологической складчатой области на востоке.

Характерной отличительной особенностью Якутского артезианского бассейна является повсеместное развитие многолетней мерзлоты, мощность которой на юге достигает 50—100 *м*, в центральной части бассейна — свыше 200 *м* и на севере — до 500 *м* и более. Вместе с увеличением мощности мерзлоты в северном направлении понижается температура мерзлых горных пород. Увеличение мощности мерзлоты в северном направлении обусловливает: убывание количества таликов, значительное сокращение площадей питания подмерзлотных водоносных горизонтов; почти полное промерзание на севере бассейна пресных артезианских водоносных горизонтов.

Талики на севере бассейна, скорее всего, имеют место лишь под крупными реками и большими озерами. Условия питания подмерзлотных вод на севере бассейна значительно менее благоприятны, чем на юге

его, где исследованиями последних лет установлены сквозные талики под р. Леной и ее крупными притоками (рр. Бирюк, Намана и др.).



Районы Якутского артезианского бассейна:

1—Центральный—юрские водоносные горизонты; *2*—Северный—меловые и юрские водоносные горизонты; *3*—Южный—нижнепалеозойские водоносные горизонты: *4*—Юго-западный—нижнепалеозойские водоносные горизонты; *5*—Западный—водоносные горизонты тунгусской свиты; *6*—Северо-западный—нижнепалеозойские водоносные горизонты. Районы, окружающие Якутский бассейн; *7*—Хатангский бассейн; *8*—Верхоянская складчатая область; *9*—Алданский кристаллический массив; *10*—Восточно-Сибирская гидрогеологическая область; *11*—Верхнеленский бассейн; *12*—Тунгусский бассейн; *13*—Анабарский кристаллический массив

В геологическом строении Якутского артезианского бассейна принимают участие кембрийские, силурийские, юрские, меловые, третичные и четвертичные отложения. На западной окраине бассейна в строении

некоторых его участков принимает участие тунгусская свита ($C+P+T$). Кембрийские преимущественно карбонатные породы залегают на кристаллическом основании. В районе к северу от г. Якутска на кристаллическом фундаменте бассейна залегают непосредственно юрские отложения, как это установлено по данным глубокой буровой скважины.

Докембрийские кристаллические породы развиты на южной окраине бассейна и вскрыты нефтеразведочными скважинами на р. Толбе на глубине 500 *м*, на р. Амге — 1020 *м*, на р. Намане — примерно 1600 *м*. К северу от г. Якутска на глубине порядка 570 *м* кристаллические породы вскрыты непосредственно под юрской толщей. Приведенные данные указывают на то, что рельеф докембрийского основания в пределах Якутского артезианского бассейна является не столь спокойным как это считалось до исследований последних лет. На северо-западе бассейна кристаллические породы слагают Анабарский массив.

Кембрийские отложения (нижний, средний, верхний кембрий) широким поясом окаймляют внутреннюю часть бассейна с северо-запада, юга и юго-востока. Эти отложения достигают огромной мощности, расчленяются на ряд свит и горизонтов, причем в разрезе преобладают известняки и доломиты, т. е. породы, относимые повсюду к наиболее водообильным. На северо-западе бассейна кембрийские отложения полого падают на восток в долину р. Лены; в южной части бассейна кембрий характеризуется общим падением пород в сторону Вилюйской впадины (на север).

Внутренняя часть Якутского артезианского бассейна сложена в основном мезозойскими отложениями (юрой и мелом). На севере, вдоль нижнего течения р. Лены, меловые отложения образуют крупный выступ. На северной окраине бассейна мезозойские отложения образуют «Пролив», соединяющий Якутский бассейн с Хатангским артезианским бассейном.

Водоносность кембрийских, силурийских и юрских отложений южной и юго-западной частей бассейна подтверждается следующими данными.

1. Наличием источников и наледей подземных вод, связанных с различными свитами нижнего, среднего и верхнего кембрия, а также с породами силура и нижней пресноводной свитой юры. Дебиты источников колеблются в широких пределах, от десятых долей литра в секунду до 100 *л/сек*. Воды источников имеют различную минерализацию и разнообразный химический состав: гидрокарбонатный, сульфатный, хлоридный. Широким распространением пользуются как пресные, так и соленые источники. Последние обычно выходят на поверхность в ядрах антиклинальных складок, по тектоническим нарушениям и в зонах контактов пород кембрия с дайками траппов (Кемпендяй, Пеледуй, Солянка, Вонькие, Намана и др.).

2. Данными многочисленных буровых скважин, расположенных по рр. Лене, Бирюку, Намане, Русской, Толбе и др. и вскрывших водоносные горизонты в различных свитах нижнего палеозоя.

3. Наличием пещер и других проявлений карста — признаков циркуляции подземных вод в нижнепалеозойских породах.

Сопоставление гидрогеологических данных и химического состава вод по источникам и скважинам, пройденным на рр. Лене, Бирюке, Намане, Русской, Толбе и Амге, с геологическим разрезом, структурными особенностями и эрозионным расчленением отдельных районов бассейна указывает на наличие в южной части последнего трех зон подмерзлотных вод (интенсивного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена).

С зоной интенсивного водообмена связаны водоносные горизонты различных по возрасту горных пород: юрских, силурийских и кембрийских. Для этой зоны характерны гидрокарбонатные воды с минерализацией до 0,5 *г/л*, а в местах развития сульфатных фаций — сульфатные воды с минерализацией, не превышающей 4,4 *г/л*. По глубине данная зона ограничивается в основном положением местного базиса эрозии (уровнем р. Лены), редко опускаясь (в отдельных районах южной части бассейна) ниже местного базиса.

Для зоны интенсивного водообмена характерны высокая дренированность разреза и промытость нижнепалеозойских и мезокайнозойских отложений. Поэтому в водах этой зоны преобладают ионы HCO_3, Ca и Mg, составляющие основную часть их минерализации. Высокое содержание в водах отдельных водоносных горизонтов иона SO_4 в некоторых районах южной части бассейна обусловлено общей загипсованностью нижнепалеозойских пород вплоть до появления в разрезе пластов гипса промышленной мощности (г. Олекминск, устье р. Наманы и др.), причем эти породы являются или локально водоносными, или водоупорными. В последнем случае они подстилают водоносные горизонты, сложенные трещиноватыми песчаниками, доломитами и известняками нижнего палеозоя.

К данной гидрохимической зоне относятся, например, межмерзлотные пресные воды карбонатных пород палеозоя бассейна р. Толбы. Среди них встречаются «жесткие» карбонатные и «щелочные» пресные воды (по Г. Д. Севонько, 1952), температура которых около 0°,5. Питание пресных межмерзлотных вод происходит за счет снеговых и дождевых вод.

Зона затрудненного водообмена включает в себя водоносные горизонты кембрия, залегающие ниже местного базиса эрозии, и характеризуется хлоридными водами с минерализацией от 2 до 50 *г/л*, часто с содержанием B, Br и тяжелых углеводородов.

Изменение минерализации вод этой зоны является следствием: а) различия геологических разрезов в разных пунктах южной части бассейна, в частности появления в разрезах пластов каменной соли промышленной мощности (рр. Бирюк, Солянка, Намана); б) смешения вод этой зоны с водами других зон (верхней и нижней); в) различия гидродинамического режима отдельных водоносных горизонтов этой зоны (в силу неоднородности фильтрационных свойств горных пород, слагающих эти горизонты, и разнообразия условий залегания последних).

К зоне весьма затрудненного водообмена (более глубокой) приурочиваются водоносные горизонты нижнего кембрия с водами, обладающими большой минерализацией (> 50 *г/л*), огромной жесткостью (свыше 200°), значительным содержанием Br (до 625 *мг/л*) и слабой радиоактивностью. По составу эти воды хлоркальциевые, характерные для нефтеносных областей и районов. В них иногда в заметных концентрациях встречаются иод и нафтеновые кислоты.

Химический состав подземных вод южной части бассейна определяется следующими факторами: литолого-фациальной особенностью разреза развитых здесь отложений, структурными и физико-географическими условиями этой части бассейна и гидрогеологическим режимом водоносных горизонтов (интенсивность процесса водообмена, определяемая степенью дренированности и глубиной залегания пород в разрезе, их водопроницаемостью, мощностью мерзлоты, динамикой мерзлотного процесса в настоящее время и пр.).

Необходимо отметить, что воды зоны интенсивного водообмена в основном пригодны для водоснабжения, а затрудненного и весьма за-

трудненного водообмена представляют интерес для поисков по гидрогеологическим признакам нефтегазоносных площадей, участков и структур; могут иметь значение для лечения и для промышленных целей.

Водоносность силурийских отложений бассейна р. Вилюя, где силур представлен нижним[1] и верхним отделами (мощностью до 1000 *м*), сложенными известняками, переслаивающимися с прослоями мергелей, глин и песчаников, с гипсом и псевдоморфозами по каменной соли, не изучена. Характер этих отложений с учетом промороженности верхних водоносных горизонтов дает основание для предположения о наличии здесь соленых минерализованных вод. Выходы пресных, холодных источников из пестроцветной толщи — сланцев, мергелей, песчаников и тонких прослоек известняков — известны (по Н. А. Граве, 1952) на правом берегу Нижней Тунгуски, вблизи с. Подволошино. Таким образом, водоносность силурийских отложений не вызывает сомнений. Изучение водоносности силура в бассейне р. Вилюя и других — задача будущих гидрогеологических исследований.

Водоносность тунгусской свиты в пределах западной окраины Якутского артезианского бассейна остается неохарактеризованной. Однако в соседнем бассейне — Тунгусском — имеются многочисленные проявления водоносности тунгусской свиты, свидетельствующие о разнообразном составе заключенных в этой свите подземных вод — от пресных до соленых.

Имеются также указания на выходы пресных и соленых источников в пределах кембрийского поля отложений, прикрывающих Анабарский кристаллический массив с юго-востока.

Внутренняя часть Якутского артезианского бассейна сложена мощным комплексом мезокайнозойских отложений. Последние наиболее подробно изучены в приленской части бассейна, в нижнем и среднем течении р. Вилюя, в долине р. Алдана, районах Сангарского, Жиганского, Булунского месторождений угля и в других местах. В приленской части Якутского бассейна мезокайнозойские отложения представлены осадками юры и мела, третичного (условно) и четвертичного возрастов.

Юрские отложения расчленяются на три свиты: нижнюю пресноводную, среднюю морскую и верхнюю пресноводную.

Нижняя пресноводная свита сложена в основном песчаниками различной зернистости и подчиненными им конгломератами и сланцами; преобладают песчаники среднезернистые с известковым цементом. Эта свита, имеющая мощность в окрестностях г. Якутска 180—190 *м*, относится условно к лейасу.

Нижняя свита постепенно переходит в среднюю морскую, представленную серыми и темносерыми песчаниками, преимущественно средне- и мелкозернистыми, и темносерыми глинами, тонкослоистыми, местами сланцеватыми. Возраст средней свиты (по фауне) определяется не моложе нижнего доггера и не древнее среднего лейаса. Мощность свиты 110—125 *м*.

Морские юрские отложения покрываются осадками верхней пресноводной свиты, которая по своей мощности превосходит предыдущие свиты вместе взятые. Верхняя свита в Якутском артезианском бассейне имеет широкое распространение. Она представлена преимущественно песчаниками мелкозернистыми светлосерыми, серыми и темносерыми с растительными остатками, с линзами и прослоями угля; темносерыми глинами,

[1] Ордовик.

обогащенными органическими остатками; сланцами глинистыми, зеленовато-серыми с обильным содержанием растительных остатков, с прослоями и пластами бурого угля. Фациальный состав всей свиты является явно пресноводным, на что указывают характерные черты ее разреза (отсутствие пород с морской фауной, преобладание пород с растительными остатками и др.). Возраст верхней пресноводной свиты нельзя считать окончательно установленным. Эта свита относится условно к верхней юре [1], мощность которой для окрестностей Якутска определяется в 350—400 *м*.

Сравнение разрезов юрских отложений приленской части Якутского бассейна с разрезами таких же отложений в других его районах указывает на их значительное сходство. Нижняя свита соответствует пресноводной свите, распространенной в бассейне р. Вилюя и в долине р. Алдана, средняя — в основном тождественна юрским морским отложениям этих районов, верхняя — юрским пресноводным отложениям.

Таким образом, в пределах всего Якутского артезианского бассейна четко прослеживается трехчленное деление юры. Однако, несмотря на общность разрезов юры отдельных районов Якутского бассейна, наблюдается и их различие. В бассейне р. Вилюя в составе нижней пресноводной свиты большое участие принимают конгломераты, в составе морской — глины, тогда как на рр. Лене и Алдане нижняя пресноводная свита сложена преимущественно песчаниками, а морская — песчаниками с подчиненными им глинами и сланцами.

Различие разрезов юры имеет место не только по фациальному составу пород, слагающих свиты, но и по мощности последних. В бассейне р. Вилюя (нижнее течение) пройденная мощность юры более 2 *км*, а общая, повидимому, превышает 3 *км*, тогда как в окрестностях Якутска общая мощность юрских отложений определяется в 600—700 *м*.

Мощности отдельных свит юры по нижнему течению р. Вилюя в настоящее время, вследствие продолжающегося бурения глубокой скважины, еще не определены. Но уже сейчас можно считать, что мощность этих свит будет больше, чем для свит юры окрестностей г. Якутска.

Водоносность юрских отложений центральной части бассейна изучена в последнее десятилетие. Здесь водоносной является нижняя пресноводная свита песчаников и конгломератов. Водоносность связана главным образом с трещиноватыми породами, слагающими свиту. Водоносность свиты по скважине № 1 в м. Сергелях прослежена на 141 *м*, по скважине № 2 в г. Якутске — примерно на 170 *м* ее разреза. Напор достигает порядка 240 *м*, считая от кровли водоносной толщи. Этот напор оказался недостаточным для фонтанирования скважин. Уровень подмерзлотных вод установился в скважинах на 78—80 *м* ниже поверхности земли. Низкое стояние пьезометрической поверхности артезианских вод является, вероятно, следствием особенностей развития мерзлотного процесса. Повидимому, не так давно под влиянием увеличения мощности мерзлой зоны часть воды была превращена в лед, а часть отжата из водоносного комплекса в процессе его промерзания. В настоящее время мощность мерзлой зоны значительно уменьшилась и происходит медленное заполнение пород водой. Разгрузка бассейна в данной его части, вероятно, еще не началась.

Пресные воды юрских отложений обладают освежающим вкусом, мягкие, стерильные, по составу хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатные натриевые с минерализацией 1,1—1,3 *г/л*. Эти воды пригодны для питье-

[1] В последнее время верхняя пресноводная свита юры для центральной части Лено-Вилюйской впадины расчленена на верхнеюрскую и меловую толщи.

вых и промышленных целей. Водоотдача свиты и состав вод, вследствие фациальной изменчивости слагающих ее пород, различной глубины залегания, в разных частях Якутского артезианского бассейна должны быть различными.

Действительно, по данным анализа пробы воды из скважины № 1 (в местности Сергелях) состав подмерзлотной воды юрских отложений может быть иллюстрирован следующей формулой Курлова:

$$M\ 1{,}2\ \frac{SO_4 44\ HCO_3\ 31\ Cl\ 25}{(K+Na)\ 84\ Mg\ 10\ Ca\ 6}.$$

Следовательно, вода относится к хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатным натриевым. Несколько иной состав имеют воды из скважины № 2 (в г. Якутске). Их состав приводим по формуле Курлова:

$$M\ 1{,}4\ \frac{HCO_3\ 49\ SO_4\ 29\ Cl\ 22}{Na\ 86\ Mg\ 10\ Ca\ 4}.$$

Эта вода относится к хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатным натриевым. Общая жесткость воды скважины № 1 — 10°, скважины № 2 — 3°. Минерализация воды в скважине № 1 составляет 1,2 *г/л*, а в скважине № 2 — немного более 1,4 *г/л*. В воде, по данным А. И. Ефимова, иод, бром, сероводород, SO_3', S_2O_3 не обнаружены.

Для сравнения состава вод из скважин № 1 и 2 приведем характерные коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1

Характерные отношения	Байкал	Скважина № 1	Скважина № 2	Океан
$\frac{Na}{Cl}$	5,93	3,30	3,90	0,85
$\frac{Na—Cl}{SO_4}$	2,39	1,30	2,20	—
$\frac{Cl—Na}{Mg}$	—	—	—	0,72
$\frac{SO_4}{Cl}$	2,08	1,76	1,31	0,10
$\frac{Ca}{Mg}$	3,90	0,60	0,40	0,19
$\frac{Mg}{Cl}$	4,30	0,40	0,45	0,199
$\frac{Ca}{Cl}$	16,90	0,24	0,18	0,04
$\frac{SO_4}{HCO_3}$	0,85	1,40	0,59	22,00
$\frac{Na}{Ca}$	0,34	24,00	21,50	26,00
$\frac{Na}{Mg}$	1,40	8,40	8,60	4,30
Минерализация, *г/л*	—	1,20	1,40	35,00

Формула Курлова байкальской воды

$$M\ \frac{HCO_3\ 89\ SO_4\ 8\ Cl\ 3}{Ca\ 62\ (Na + K)\ 22\ Mg\ 16};$$

океанской воды

$$M\ 35\ \frac{Cl\ 90{,}4\ SO_4\ 9{,}2\ HCO_3\ 0{,}4}{(Na + K)\ 78{,}6\ Mg\ 17{,}8\ Ca\ 3{,}6}.$$

Приведенные в табл. 1 соотношения компонентов и формулы вод показывают, что по степени минерализации вода относится к слабо солоноватым, почти пресным.

По В. А. Сулину, воды скважин № 1 и 2 относятся к гидрокарбонатно-натриевому типу, сульфатной группе и магниевой подгруппе. Необходимо отметить особенности состава этих вод. Натрий преобладает над хлором, причем отношение Na к Cl возрастает в направлении от скважины № 1 к скважине № 2. Это говорит об увеличении натрия в северном направлении [1]. Отношение SO_4 к Cl больше единицы. Оно уменьшается от скважины № 1 к скважине № 2, что свидетельствует о «выходе» сульфата из раствора в северном направлении. Характерно значительное преобладание магния над кальцием и возрастание отношения Mg к Ca в направлении на север, что является следствием выхода кальция из раствора, повидимому вследствие катионного обмена его с натрием. Выход кальция подтверждается также значительным снижением отношения Ca к Cl в направлении с юга на север и уменьшением жесткости воды с 10 до 3°.

Необходимо подчеркнуть резкое изменение отношения SO_4 к HCO_3. В воде скважины № 1 это отношение больше единицы, а скважины № 2— меньше. Эти изменения еще раз указывают на выход сульфата из раствора и свидетельствуют о некотором увеличении гидрокарбонатного иона. Изменения состава катионов заключаются в основном в некотором возрастании натрия за счет кальция, что не имеет существенного значения. Напротив, в составе анионов происходят существенные изменения за счет значительного возрастания гидрокарбонатного иона и снижения сульфата.

Так как область питания и поглощения юрского водоносного комплекса намечается на южной окраине его распространения, а скважина № 1 расположена ближе к области поглощения, т. е. южнее, чем скважина № 2, можно сделать некоторые выводы о ходе процесса изменения состава подземных вод юрского водоносного комплекса. Состав воды, вскрытой и эксплуатируемой скважиной № 2 г. Якутска, можно объяснить как результат сложного превращения пресных атмосферных и поверхностных вод, попавших в юрский водоносный комплекс на юге, в области поглощения, по мере продвижения этих вод на север. Циркуляция вод происходит по породам, водно-солевой комплекс которых в глубоких частях бассейна, видимо, характеризуется адсорбированными катионами Na и Mg, т. е. отвечает глинистым осадкам, отложившимся в бассейне со слабо солоноватыми водами.

Процесс превращения состава вод происходит следующим образом. В область поглощения проникают атмосферные, поверхностные и другие воды р. Лены и циркулируют вначале в четвертичных хорошо промытых породах. Состав фильтрующихся подземных вод межмерзлотных таликов, повидимому, гидрокарбонатно-кальциевый. Минерализация этих вод очень небольшая (значительно меньше 1 *г/л*). Для примерной ориенти-

[1] Скважина № 1 находится южнее скважины № 2. Общее движение артезианских вод намечается с юга на север для того участка бассейна, который находится начиная с г. Якутска и далее на юг до выходов нижней юры на поверхность.

ровки состава воды, проникающей в сквозной талик из р. Лены, приводим состав ленской воды (сентябрь 1939 г.) [10], выраженный по формуле Курлова:

$$M\ 0{,}14\ \frac{Cl\ 46\ HCO_3\ 39\ SO_4\ 12}{Ca\ 39\ Mg\ 23\ (Na+K)\ 38}.$$

Вполне вероятно присутствие в воде соединений железа. После погружения вод из четвертичного покрова в зону выщелачивания юрских пород состав подземных вод должен обогатиться сульфатом кальция за счет растворения и выщелачивания гипса, рассеянного в юрских морских отложениях. На некоторой глубине подземные воды переходят из зоны выщелачивания юрских пород в зону первичного (?) их засоления. Здесь должны наступить процессы катионного обмена. Намечаемая схема процесса обмена такова:

$$Ca + Na\ (адсорб.) \rightarrow 2Na + Ca\ (адсорб.),$$

$$Ca + Mg\ (адсорб.) \rightarrow Mg + Ca\ (адсорб.).$$

Очевидно, что ионы Na и Mg будут переходить в раствор, а ионы Ca, наоборот, поглощаться, адсорбироваться. Этот процесс обмена сопровождается повышением в растворе отношений $\frac{Na}{Cl}$ и $\frac{Mg}{Cl}$, а также $\frac{Mg}{Ca}$ (табл. 1).

По мере продвижения подземных вод от области поглощения в глубь артезианского бассейна эти отношения возрастают. В самом деле, отношения $\frac{Na}{Cl}$, $\frac{Mg}{Cl}$, $\frac{Mg}{Ca}$ в воде скважины № 2, находящейся дальше от области поглощения, больше, чем те же отношения в воде скважины № 1, находящейся южнее, ближе к области поглощения.

Возникает вопрос, почему отношение $\frac{SO_4}{HCO_3}$ в воде скважины № 2 меньше единицы, тогда как в воде скважины № 1 оно больше единицы. Эти отношения могут быть представлены так:

(скважина № 1) $\frac{SO_4}{HCO_3} > 1 >$ (скважина № 2) $\frac{SO_4}{HCO_3}$.

Изменение соотношений $\frac{SO_4}{HCO_3}$ в воде скважин № 1 и 2 можно объяснить увеличением концентрации гидрокарбонатов и уменьшением сульфатов по мере продвижения подземных вод в северном направлении. Выход из раствора сульфатов, скорее всего, происходит под влиянием процессов десульфатизации по общеизвестной схеме

$$SO_4'' + 2C + 2H_2O \rightarrow H_2S + 2HCO_3.$$

Из приведенной схемы видно, что происходит не только уменьшение сульфатного иона, но и образование гидрокарбонатного иона (табл. 1). Отсутствие сероводорода в воде скважин № 1 и 2 можно объяснить связыванием его с железом (с образованием пирита).

Таким образом, происхождение солевого состава воды артезианских скважин г. Якутска представляется сложным. Намечаются следующие стадии преобразования этих вод.

1. Инфильтрация атмосферных осадков и поверхностных вод в области поглощения сопровождается растворением и выщелачиванием карбонатов кальция и некоторым обогащением вод железом.

2. Дальнейшее продвижение подземных вод в глубину приводит к растворению гипса в юрской толще.

3. В зоне первичного (?) засоления наступает катионный обмен и кальций подземных вод обменивается на натрий поглощенного комплекса пород.

4. В восстановительной анаэробной среде в присутствии органических веществ развиваются процессы сульфатредукции. Образующийся сероводород связывается с железом в пирит. Углекислота расходуется на образование гидрокарбонатов натрия.

Разумеется, предложенная выше схема преобразования артезианских подмерзлотных вод юрских отложений не является универсальной. Она является первой попыткой наметить основные черты этого процесса и увязать изменение состава с движением подземных вод от области поглощения в центральную, глубокую часть бассейна (для его Якутского участка).

Мы остановили внимание читателя на данном вопросе потому, что еще продолжается дальнейшая разведка юрских водоносных горизонтов. Необходимо собрать хороший материал по гидрохимии подмерзлотных вод при опробовании глубоких скважин. Это обеспечит дальнейшую разработку поставленной перед нами проблемы формирования подземных вод Якутского артезианского бассейна, имеющую большое практическое значение.

Кроме скважин, пройденных на территории г. Якутска, подмерзлотные воды юры вскрыты и другими скважинами: 1) в 12 *км* севернее г. Якутска, 2) Вилюйской, 3) скважинами в с. Чурапча (Лено-Амгинское междуречье), 4) в районе Сангар и т. п. Это говорит о широком распространении по площади подмерзлотных вод в юрских отложениях бассейна; гидрохимическая зональность этих вод для глубокой части Лено-Вилюйской впадины (нижнее течение р. Вилюя) находится в стадии изучения.

На севере бассейна юрско-меловые отложения, судя по разрезам Сангарского, Жиганского и Булунского месторождений угля, достигают большой мощности (от 1200 *м* по Сангарскому до 3000 *м* по Булунскому месторождениям). Водоносность юрско-меловых отложений севера Якутского артезианского бассейна требует изучения. Однако преимущественное преобладание в разрезе песчаных фаций позволяет высказаться в пользу значительной водообильности той части мезозоя артезианского бассейна, которая не захвачена мерзлотой.

Водоносность меловых отложений северной части бассейна доказана работами А. И. Гусева [15]. В трещиноватых песчаниках и сланцах Сангарского района, на правом берегу р. Лены, на глубине 50—150 *м* от поверхности земли вскрыты подземные воды. Статический уровень подземных вод у берега был равен уровню воды р. Лены, а в 1,5 *км* от берега на 6 *м* выше уровня р. Лены. Температура подземных вод 0—2°, минерализация вод вблизи реки не превышала 400 *мг/л*, а в скважине, на расстоянии 1—0,5 *км* от реки, составляла 1,1 *г/л*. В составе этих вод преобладает хлористый натрий, мало бикарбонатов кальция и следы сульфатов. Жесткость воды 4°. Движение подземных вод направлено к р. Лене.

Таким образом, доказана несомненная водоносность нижнемеловых отложений центральной части Лено-Вилюйской впадины. Интересно также отметить дренирующее значение долины р. Лены в отношении мелового водоносного комплекса, в отличие от юрского комплекса, в окрестностях г. Якутска.

Третичные отложения в Якутском артезианском бассейне небольшим островком залегают на берегах р. Лены, ниже устья р. Вилюя. Повидимому, эти же отложения покрывают верхнюю пресноводную свиту юры

в районе Нижне-Кангаласских копей. В гидрогеологии данного бассейна третичные отложения существенного значения не имеют, вследствие их полного промерзания (за исключением локальных таликов).

Четвертичные отложения имеют широкое распространение в бассейне, причем изучение их только начинается. По происхождению и составу они весьма разнообразны. Это — ископаемые льды Лено-Амгинского междуречья, аллювий рр. Лены, Алдана, Амги и их притоков, озерно-аллювиальные, озерные, элювиально-делювиальные и эоловые отложения.

Четвертичные отложения в большинстве случаев нацело промерзжены и неводоносны. В озерно-аллювиальных отложениях крайне редко наблюдаются жилы и ленты межмерзлотных вод, питающие мощные источники Сулара, Улахан-тарына и др. (окрестности Якутска). Эти источники, как показали наблюдения А. И. Ефимова, получают свое питание за счет поверхностных вод. Повсеместно встречаются надмерзлотные воды в пределах деятельного слоя; существенного значения для постоянного водоснабжения они не имеют.

Подрусловые и подозерные талики имеют наибольшее развитие в пределах поймы и первой надпойменной террасы рр. Лены, Алдана и Амги. Воды таликов могут представлять интерес для водоснабжения небольших населенных пунктов бассейна, расположенных по берегам указанных рек. Ископаемые льды, как твердая фаза межмерзлотных вод, по химическому составу пригодны для водоснабжения некоторых населенных пунктов Лено-Амгинского междуречья. Однако способы их эксплуатации для целей водоснабжения требуют дальнейшего изучения.

ВЫВОДЫ

1. Из обзора водоносности различных отложений Якутского артезианского бассейна видна решающая роль гидрогеологии мерзлоты, исключившей ряд водоносных горизонтов в отложениях, различных по возрасту, составу и происхождению и огромная мощность осадочных толщ, слагающих Якутский артезианский бассейн.

2. Преобладание в разрезе кембрия карбонатных пород, а в нижней пресноводной свите юры песчаников и конгломератов способствует накоплению и циркуляции в бассейне подземных вод, залегающих под мощной мерзлой зоной.

3. Судя по геологическим условиям и обширности территории, которую он занимает, бассейн должен обладать значительными водными ресурсами.

4. В бассейне резко различны внутренняя часть, сложенная мощными толщами песчаников с подчиненными им конгломератами и глинами мезозоя, и периферическая, сложенная преимущественно карбонатными фациями нижнего палеозоя.

5. Качество подмерзлотных вод бассейна весьма разнообразно. Вблизи от поверхности земли под мерзлотой залегают пресные воды. Мощность зоны пресных вод в г. Якутске и его окрестностях достигает 500—600 *м* и является весьма значительной. На больших глубинах (в нижнем палеозое) залегают соленые воды. Концентрация солей этих вод возрастает с глубиной. На больших глубинах внутренней части бассейна можно рассчитывать на получение высокоценных вод для лечебных и промышленных целей.

6. Мерзлотные условия осложняют использование подмерзлотных артезианских вод в северной части бассейна. Но эти затруднения могут быть разрешены, как показал опыт разведки и эксплуатации подмерзлотных вод центральной части бассейна (окрестности Якутска). Несом-

ненно, что водные богатства всего Якутского артезианского бассейна будут использованы для дальнейшего процветания Якутской республики.

Открытие и изучение Якутского артезианского бассейна тесно связано с историей водоснабжения г. Якутска. Еще в первой половине XIX века (1827 г.) Ф. Шергиным, в целях вскрытия воды «из-под земли», был пройден колодец на глубину 116 *м*. Позднее этот колодец вошел в литературу под названием Шергинской шахты. Шергинская шахта не вскрыла воду и не прошла мерзлоту на всю ее мощность, но она сыграла большую роль в изучении многолетней мерзлоты центральной Якутии. Шахта была использована А. Ф. Миддендорфом [14] для температурных наблюдений в мерзлых породах, что положило начало развитию геотермических наблюдений в области распространения многолетней мерзлоты.

Крупнейший геолог первой половины XIX в. Г. Гельмерсен впервые высказал мысль о том, что дальнейшее углубление колодца привело бы к вскрытию водосодержащих пород. Однако эта мысль впоследствии была забыта. Неудачи Ф. Шергина надолго остановили дальнейшие работы, связанные с поисками и разведкой подземных вод, залегающих под мощной мерзлотой.

В 1902 г. вновь был поднят вопрос о водоснабжении Якутска и составлен проект водокачки для забора воды из так называемой Моховой пади. Этот проект не был осуществлен.

В 1908 г. была сооружена временная водокачка у Моховой пади, просуществовавшая весьма непродолжительный период. В это же время встал вопрос о постройке водокачки близ города, на берегу протоки Хатыстах.

В 1916 г. на берегу протоки Хатыстах была сооружена водокачка простейшего типа. Но анализ вод, забираемых этой водокачкой, показал большое загрязнение (до 11 825 бактерий в 1 $см^3$ воды), и, таким образом, вопрос водоснабжения г. Якутска до Великой Октябрьской социалистической революции не был разрешен.

После революции, когда г. Якутск из заброшенного провинциального городка превратился в центр большой автономной республики, вопрос о его водоснабжении приобрел еще большее значение.

Наличие в черте города проток (летом маловодообильных, зимой почти промерзающих), а также постепенный отход русла р. Лены от города явились теми факторами, которые вызвали необходимость дальнейших изысканий надежных источников водоснабжения г. Якутска. К таким изысканиям относятся изыскания «Коммунстроя» (1933 г.), проведенные инж. И. М. Светозаровым, установившие наличие в аллювиальных песчаных отложениях низких террас р. Лены подрусловых вод, которые, в силу особых мерзлотно-гидрогеологических условий (рост мерзлоты в таликах, «загнивание» вод), не могли быть приняты за основной источник водоснабжения города.

В 1934 г. партия по исследованию рек Востока вновь возвращается к речному варианту водоснабжения и производит изыскание способов подвода воды к городу из р. Лены. Эти изыскания также не дали должных результатов для решения вопроса водоснабжения города.

Все перечисленные выше исследования не были доведены до конца. Они ограничивались изучением поверхностных, надмерзлотных и подрусловых вод и описанием некоторых источников окрестностей г. Якутска.

В 1939 г. гидрогеологические исследования центральной части бассейна были произведены АН СССР. Организованный для этих целей гидрогеологический отряд Якутской экспедиции, возглавляемой проф. М. И. Сумгиным, поставил перед собой следующие задачи.

1. Составление геологического разреза под г. Якутском и в его окрестностях.

2. Изучение водоносности кембрийских и юрских отложений приленской части Лено-Вилюйской впадины.

3. Выяснение возможности получения подмерзлотных вод в г. Якутске.

4. При благоприятном решении первых трех задач провести глубокое бурение на подмерзлотные воды в г. Якутске.

Решение этих задач было возложено на проф. Н. И. Толстихина и доц. В. М. Максимова. В результате исследований 1939—1940 гг. Н. И. Толстихиным, М. И. Сумгиным и В. М. Максимовым было определено место заложения первой глубокой разведочной скважины на подмерзлотные воды, связанные с нижними горизонтами юрских отложений. В феврале 1940 г. Якутский геологический трест приступил к бурению этой скважины (в м. Сергелях). Скважина вскрыла под мощной мерзлотой подмерзлотные пресные воды и подтвердила тем самым данные исследований гидрогеологического отряда АН СССР и положения, высказанные Г. Гельмерсеном, Н. И. Толстихиным и М. И. Сумгиным о наличии подземных вод под мощной мерзлотой. Гидрогеологические наблюдения в ходе бурения скважины и опробования подмерзлотных вод осуществлялись П. И. Мельниковым, А. И. Ефимовым и И. Л. Янцевичем. Опробование было закончено в годы Великой Отечественной войны. Результаты опробования легли в основу технического проекта эксплуатационной скважины на подмерзлотные воды для водоснабжения г. Якутска, которая была пройдена в 1943—1944 гг. и пущена в эксплуатацию в 1947 г.

Бурением первой разведочной и второй эксплуатационной скважин была решена вековая, в течение многих лет оспаривавшаяся задача о наличии подземных вод под г. Якутском, расположенным в области развития мощной мерзлоты.

Вместе с тем вскрытие подмерзлотных вод привело к открытию уникального артезианского бассейна — Якутского, который отличается от других артезианских бассейнов СССР своим чрезвычайно большим размером по площади, разнообразием и огромной мощностью слагающих его пород и развитием в его внутренней и северной частях мощной мерзлоты.

Впервые в мировой гидрогеологической практике была разрешена проблема разведки и эксплуатации подмерзлотных вод в условиях мощной низкотемпературной толщи мерзлоты. Это имеет огромнейшее значение для СССР, где мерзлота встречается на площади около 10 000 000 *км*², что составляет 47% всей территории страны. В пределах площади, занятой мерзлотой, находятся другие крупные артезианские бассейны, путь к разведке и эксплуатации подмерзлотных вод которых теперь (после работ в Якутском бассейне) можно считать найденным.

Гидрогеологическое изучение Якутского бассейна было начато в его центральной части. Почти десятилетний опыт эксплуатации скважин в г. Якутске показал, что, несмотря на низкое положение пьезометрического уровня и суровые климатические условия, вековая проблема использования подмерзлотных вод для водоснабжения является решенной в научном и практическом отношении. Современная техника проходки глубоких скважин, наличие опыта эксплуатации подмерзлотных вод в г. Якутске, новые методы опробования гидрогеологических скважин вселяют уверенность в том, что в недалеком будущем Якутский и другие артезианские бассейны северо-востока СССР будут более детально изучены в гидрогеологическом отношении. Это позволит решить многие,

неизвестные еще гидрогеологам вопросы формирования подземных вод в районах, закрытых более мощной, чем в Центральной Якутии, многолетней мерзлотой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильевский М. М., Борсук Н. В., Ревунова Н. А. и Шашерова Е. М. Схема основного гидрогеологического районирования Азиатской части СССР. «Советская геология», 1939, № 7.
2. Васильевский М. М. О гидрогеологическом районировании территории СССР. «Природа», 1940, № 4.
3. Гельмерсен Г. Замечание о колодце, вырытом в Якутске. «Горный журнал», 1833, ч. II, кн. 11.
4. Граве Н. А. Вечная мерзлота в долинах рек юго-западной части Средне-Сибирского плоскогорья. Труды Института мерзлотоведения, 1952, т. X.
5. Ефимов А. И. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в Центральной Якутии. Сб. Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, изд. АН СССР, 1952, вып. 3.
6. Ефимов А. И. Якутский артезианский бассейн подмерзлотных вод. Известия АН СССР, серия геологическая, 1945, № 4.
7. Ефимов А. И., Мельников П. И. и Соловьев П. А. Подмерзлотные воды района г. Якутска. Труды конференций по изучению и развитию производительных сил ЯАССР, изд. АН СССР, 1945.
8. Максимов В. М., Толстихин Н. И. Гидрогеологический очерк окрестностей Якутска. Рукопись. Фонды Института мерзлотоведения, 1941.
9. Максимов В. М. Источники окрестностей Якутска. Записки Ленинградского горного института, 1941, т. XIV.
10. Максимов В. М. Гидрогеологические условия приленской части Лено-Вилюйской впадины. Рукопись. Фонды Ленинградского горного института, 1947.
11. Максимов В. М. Подземные воды и нефтегазоносность палеозойских отложений левобережного участка долины р. Лены — между рр. Большая Черепаниха и Большая Русская. Рукопись. Фонды Ленинградского горного института, 1952.
12. Мельников П. И. и Ефимов А. И. Опыт эксплуатации подземных вод в области распространения вечной мерзлоты Центральной Якутии. Изд. АН СССР, 1953.
13. Мельников П. И. и Анисимова Н. П. О радиоактивности вод источников долины среднего течения р. Лены Олекминского и Орджоникидзевского районов ЯАССР. Сб. Исследование вечной мерзлоты в ЯАССР, изд. АН СССР, 1952, вып. 3.
14. Миддендорф А. Ф. Путешествие на север и восток Сибири. СПБ., 1862.
15. Обидин Н. И. Мерзлая зона литосферы и подземные воды Советской Арктики. Труды Арктического научно-исследовательского института ГУСМП, изд. Главсевморпути, 1948, т. 16.
16. Пресняков Е. А. Якутская АССР. Сб. Материалы для характеристики ресурсов подземных вод по районам СССР, изд. ГГРУ, 1933.
17. Светозаров И. М. Гидрогеология вечной мерзлоты по материалам исследований в районе Якутска. «Проблемы советской геологии», 1934, № 10.
18. Севонько Г. Д. Вечная мерзлота в бассейне р. Толбы. Труды института мерзлотоведения АН СССР, 1952, т. IX.
19. Толстихин Н. И. и Максимов В. М. Гидрогеологические условия водоснабжения ЯАССР. Труды конференций по изучению и развитию производительных сил ЯАССР, изд. АН СССР, 1941.
20. Толстихин Н. И. Артезианские воды мерзлой зоны в пределах СССР. «Мерзлотоведение», 1947, т. II, вып. 1.
21. Толстихин Н. И. Подземные воды Якутии. «Геология СССР», 1947, т. XVIII, стр. 747—759.
22. Толстихин Н. И. Минеральные воды Якутии. «Геология СССР», 1947, т. XVIII, стр. 759—762.
23. Толстихин Н. И. Гидрогеология СССР. Записки Ленинградского горного института, 1953, т. XXVIII.