

УДК 504.61:556.388

РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

А.А. Ястребов, Ю.К. Иванов

*Институт геологии и геохимии УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7
E-mail: yastrebov@igg.uran.ru*

Поступила в редакцию 25 сентября 2008 г.

Рассматриваются закономерности формирования подземного стока и водного баланса севера Западно-Сибирского мегабассейна. Проведена количественная оценка распределения расходов и объемов стока эоцен-четвертичного водоносного комплекса. Выявлены региональные закономерности в распределении подземного стока, на которые в первую очередь влияют мерзлотные и фильтрационные параметры водовмещающих пород. Исследования позволили оценить величину питания и разгрузки подземных вод, что является основой для региональной оценки их естественных ресурсов.

Ключевые слова: гидрогеология, геоэкология, подземные воды, водный баланс.

FRESH GROUNDWATER REGIONAL DYNAMICS OF THE YAMAL-NENETS AUTONOMOUS REGION

A.A. Yastrebov, Y.K. Ivanov

Institute of Geology and Geochemistry, Urals branch of RAS

Formation peculiarities of the North-Western Siberian megabasin's groundwater flow and water balance are investigated. Quantitative valuation of expenditure and volumes flow distribution of Eocene-Quaternary water-bearing complex has been made. Regional regularity of groundwater flow distribution has been found. It is determined that they depend on frozen and filtration parameters of reservoir rocks. Our investigations allowed to evaluate the quantity of groundwater recharge and discharge, which are the base of region evaluating of groundwater natural resources.

Key words: hydrogeology, geoecology, groundwaters, water balance.

Усиливающееся в результате интенсификации нефтегазодобычи антропогенное воздействие на пресные подземные воды Западно-Сибирского артезианского мегабассейна (ЗСАМБ) и увеличение селитебной нагрузки на осваиваемые территории требует углубленного изучения региональной гидродинамики верхнего гидрогеологического этажа.

В теоретическом аспекте данная проблема подразумевает исследование закономерностей формирования подземного стока и водного баланса артезианских бассейнов и расширенного развития теории гидрохимической миграции вещества в земной коре [Всеволожский, 1983]. Необходимость развернутого изучения данного вопроса рассматривалась на V Всесоюзном гидрологическом съезде в 1987 г., где подчеркивалась необходимость развития исследования процессов водообмена с целью прогноза изменений природной среды в связи с хозяйственной деятельностью и возможными изменениями климата.

Исходя из имеющихся теоретических предпосылок, исследования подземного стока связаны с ко-

личественными оценками закономерностей формирования и распределения расходов и объемов стока на различных уровнях гидрогеологической иерархии. В своей основе такие исследования являются балансовыми и наряду с анализом распределения напоров в водоносных комплексах, более детально рассматривают гидродинамические и гидрохимические условия на границах природных систем и региональное распределение геофильтрационных свойств водовмещающих пород.

Вследствие сокращения и приостановки региональных гидрогеологических исследований в восьмидесятых-девяностых годах прошлого века, северная часть ЗСАМБ, в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), осталась практически не охваченной балансовыми исследованиями. Возможность таких оценок верхнего этажа бассейна в северной его части появилась лишь в последние годы, когда были проведены региональные гидрогеологические и гидрохимические исследования. В период 1995-2005 гг. авторами

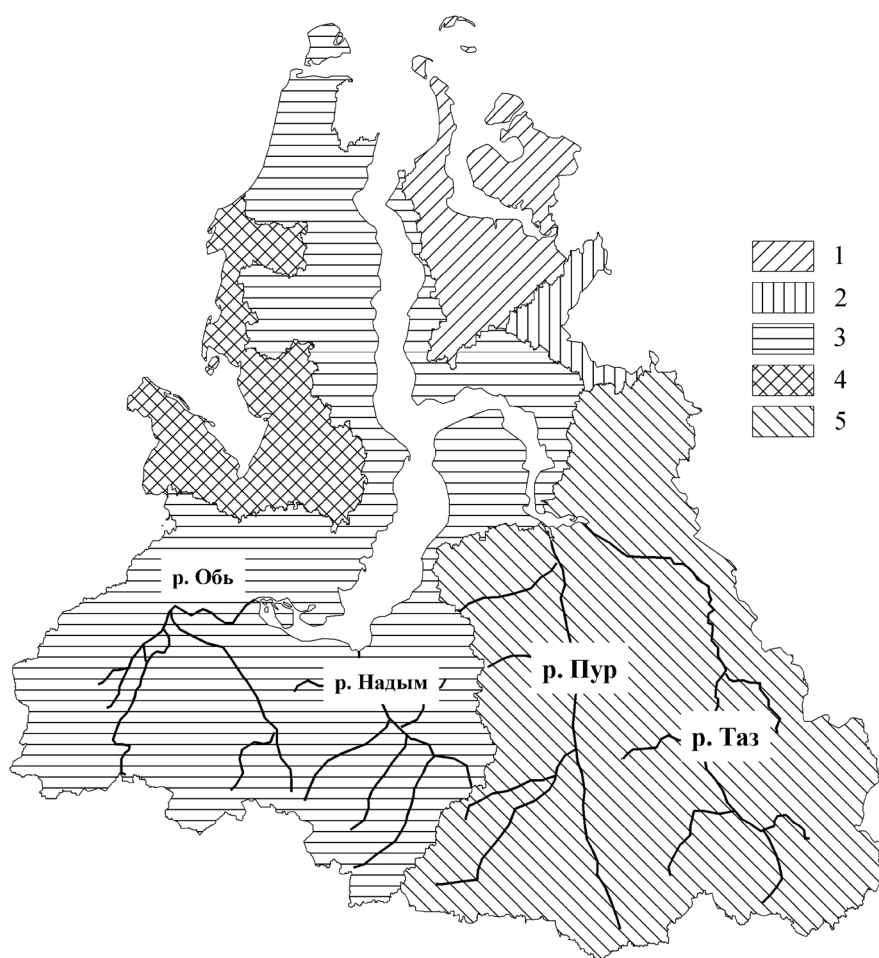


Рис. 1. Северная группа бассейнов стока.

1 – Гыданский бассейн, 2 – Енисейский бассейн, 3 – Нижнеобской бассейн, 4 – Прикарский бассейн, 5 – Тазовский бассейн.

собран значительный фактический материал по гидрогеологии эоцен-четвертичного водоносного комплекса севера ЗСАМБ, проведены специальные исследования по региональной оценке и картированию подземного стока, получен большой объем количественных данных.

В работе представлены предварительные выводы о региональной динамике подземных вод северной части Западносибирского артезианского мегабассейна в пределах Тазовского и части Нижнеобского бассейнов (р. Надым).

В гидрогеологическом отношении изучаемая территория относится к кайнозойско-меловой системе бассейнов стока Западно-Сибирского мегабассейна [Матусевич, 1984; Смоленцев, 1995]. По особенностям неотектоники, морфоструктуры и гидрогеологии в пределах ЗСМБ выделяются Северная и Южная группы бассейнов стока подземных вод [Смоленцев, 1995]. Граница между ними проходит по Обь-Енисейской положительной морфоструктуре (Сибирским Увалам). Эта орографи-

ческая широтная ось определяет направление стока поверхностных и подземных вод в сторону северной и южной частей мегабассейна. Территория ЯНАО входит в Северную группу, и здесь выделяются пять бассейнов стока подземных вод: Нижнеобской, Тазовский, Нижнеенисейский, Прикарский, Гыданский (рис. 1).

Граница между бассейнами определяется положениями гидрогеологических водоразделов, причем значительную роль в определении границ первого порядка играют рельеф и климат.

По условиям водообмена, динамике и химическому составу подземных вод кайнозойско-меловая система бассейнов стока в пределах ЯНАО подразделяется в разрезе на два гидрогеологических комплекса: эоцен-четвертичный (эоцен-олигоцен-четвертичный) и турон-эоценовый. Первый представляет собой преимущественно проницаемую единую водонасыщенную толщу, второй – региональный водоупор с подчиненными водоносными горизонтами и слоями.

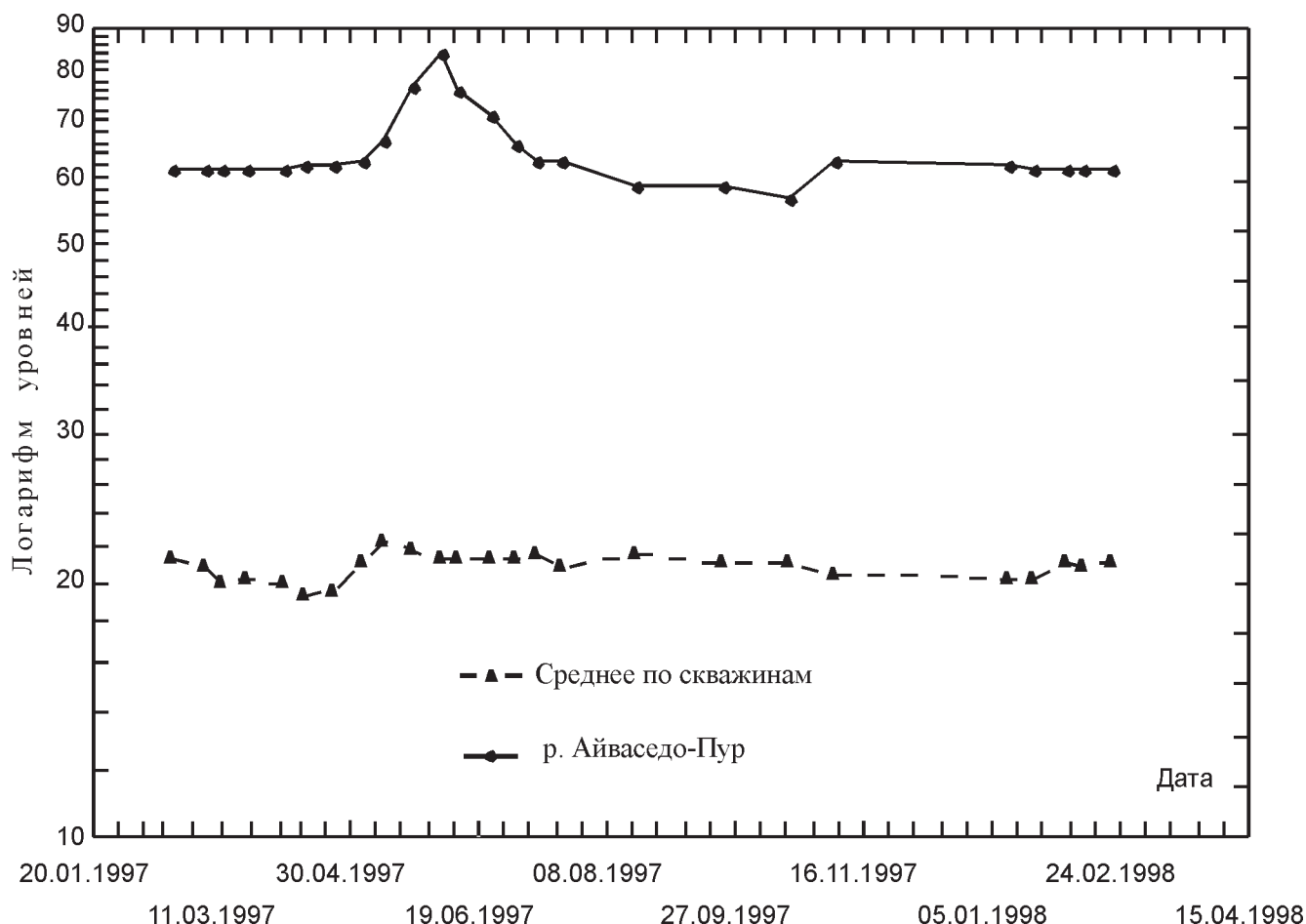


Рис. 2. График изменения уровней по р. Айваседо-Пур и в скважинах водозабора г. Тарко-Сале.

Особенностью пресных подземных вод ЯНАО является приуроченность их к криолитозоне. Геокриологические условия оказывают важнейшее влияние на формирование, распространение, количество и качество подземных вод. Характер и распространение многолетнемерзлых пород обуславливают ярко выраженную зональность гидрогеологических условий равнинной части округа, в том числе и в части распределения подземного стока.

Исходя из объема полученных в ходе региональных работ данных и площади изысканий, балансовые оценки были получены для следующих подбассейнов стока: Тазовский бассейн – Пуровский подбассейн и подбассейн р. Таз; Нижнеобской бассейн – Надымский подбассейн стока.

Распределение расходов и объемов стока происходит в верхней части разреза (эоцен-олигоцен-четвертичный комплекс), в пределах которой структура потоков подземных вод определяется условиями на верхней гидрогеологической границе бассейна [Всеволожский, 1983]. Водный баланс подбассейнов определяется соотношением прихода-расходных элементов. Элементами прихода считаются атмосферные осадки и конденсация

влаги на поверхности, а элементами расхода – речной сток, подземный сток и испарение. Таким образом, под водным балансом перечисленных подбассейнов понимается соотношение, связывающее количество воды, поступающей на поверхность исследуемых территорий в виде осадков с количеством воды, испаряющейся и стекающей с суши в виде поверхностного и подземного стока за определенный период времени.

$$Q_c = I_c + C_o$$

где: Q_c – годовые осадки на поверхность бассейна; I_c – годовое испарение с поверхности бассейна; C_o – общий годовой сток (речной и подземный).

Если пренебречь величиной конденсации, уравнение водного баланса принимает вид:

$$C_o = Q_c - I_o$$

т. е. общий сток равен осадкам минус испарение.

Элементы круговорота воды в природе (осадки, испарение, сток) имеют большое значение для выяснения условий формирования и режима под-

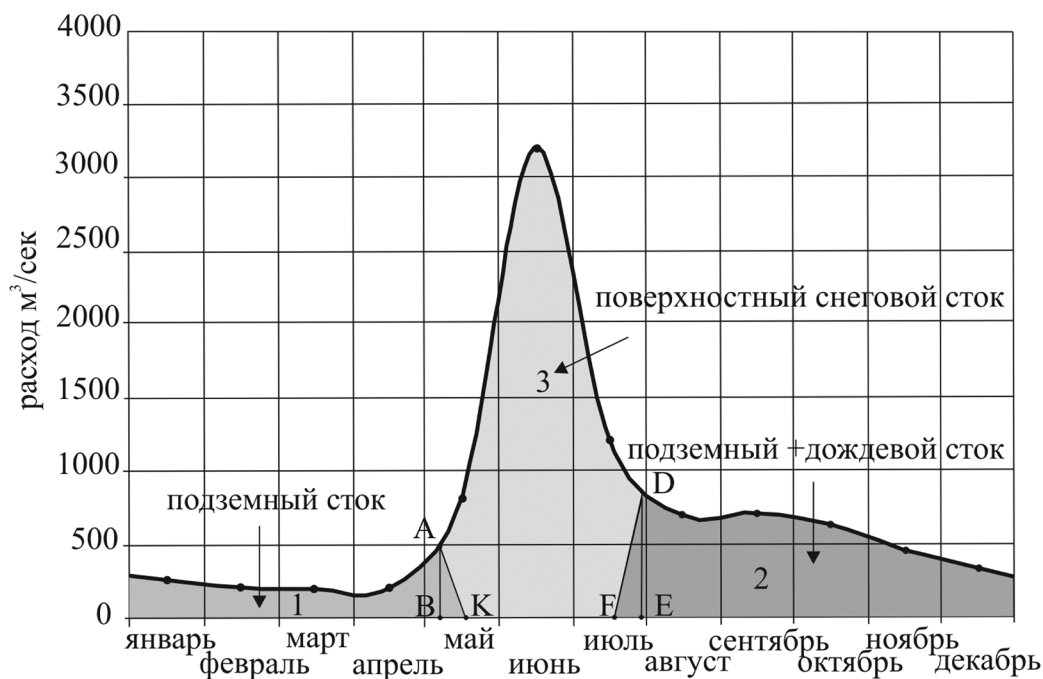


Рис. 3. Средний многолетний гидрограф р. Пур (створ – г. Уренгой).

земных вод. Поэтому при гидрогеологических исследованиях эти элементы, характеризующие гидролого-метеорологическую обстановку рассматриваемого района, наиболее тщательно оценивались. Они включали в себя изучение климатических условий, поверхностного и подземного стока, испарения, гидрогеохимических параметров водоносных комплексов и геокриологических условий в районе распространения подземных вод.

Исходя из строения гидрогеологического разреза, фильтрационных свойств водоносных и слабопроницаемых пород и распределения напоров для речных долин Таза, Пура и Надыма, глубина их дренирующего воздействия полностью перехватывает сток эоцен-четвертичного комплекса. В связи с этим, гидрометрические методы были выбраны в качестве основных для оценки балансовых характеристик подбассейнов стока. Определение составляющих водного баланса данными методами позволило получить надежные среднееголетние характеристики поверхностного и подземного стока зоны интенсивного водообмена.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА

Расчленение гидрографа по генетическим признакам питания представляет значительные трудно-

сти, связанные с выделением подземного стока реки. Многочисленные предложения, существующие для разрешения этой задачи, при ряде достоинств некоторых из них, имеют тот общий недостаток, что они не основаны на изучении режима стока подземных вод в реку, а решают вопрос на основе общих соображений, в результате чего в расчеты объема стока вносится некоторая неопределенность.

Вопрос наиболее полно был разработан в [Куделин, 1960], где найдены способы расчета границ для выделения подземного стока на гидрографе реки. Метод построен на следующих соображениях.

Подземное питание рек осуществляется за счет стока в реку грунтовых и напорных вод. Динамика подземного стока зависит от степени гидравлической связанности водоносных (напорных и безнапорных) горизонтов с рекой, в связи с чем различают водоносные горизонты: а) гидравлически связанные с рекой; б) гидравлически не связанные с рекой; в) имеющие периодическую связь с рекой.

Из графика (рис. 2) видно, что кайнозойско-меловая система бассейнов стока, представленная на изучаемой территории эоцен-четвертичным водоносным комплексом, имеет прямую гидравлическую связь с реками. В конце апреля-начале мая происходит резкое повышение уровней, как в речной сети района, так и в эксплуатационных скважинах водозаборов. Соответственно, в этот период происходит уменьшение расхода подземного

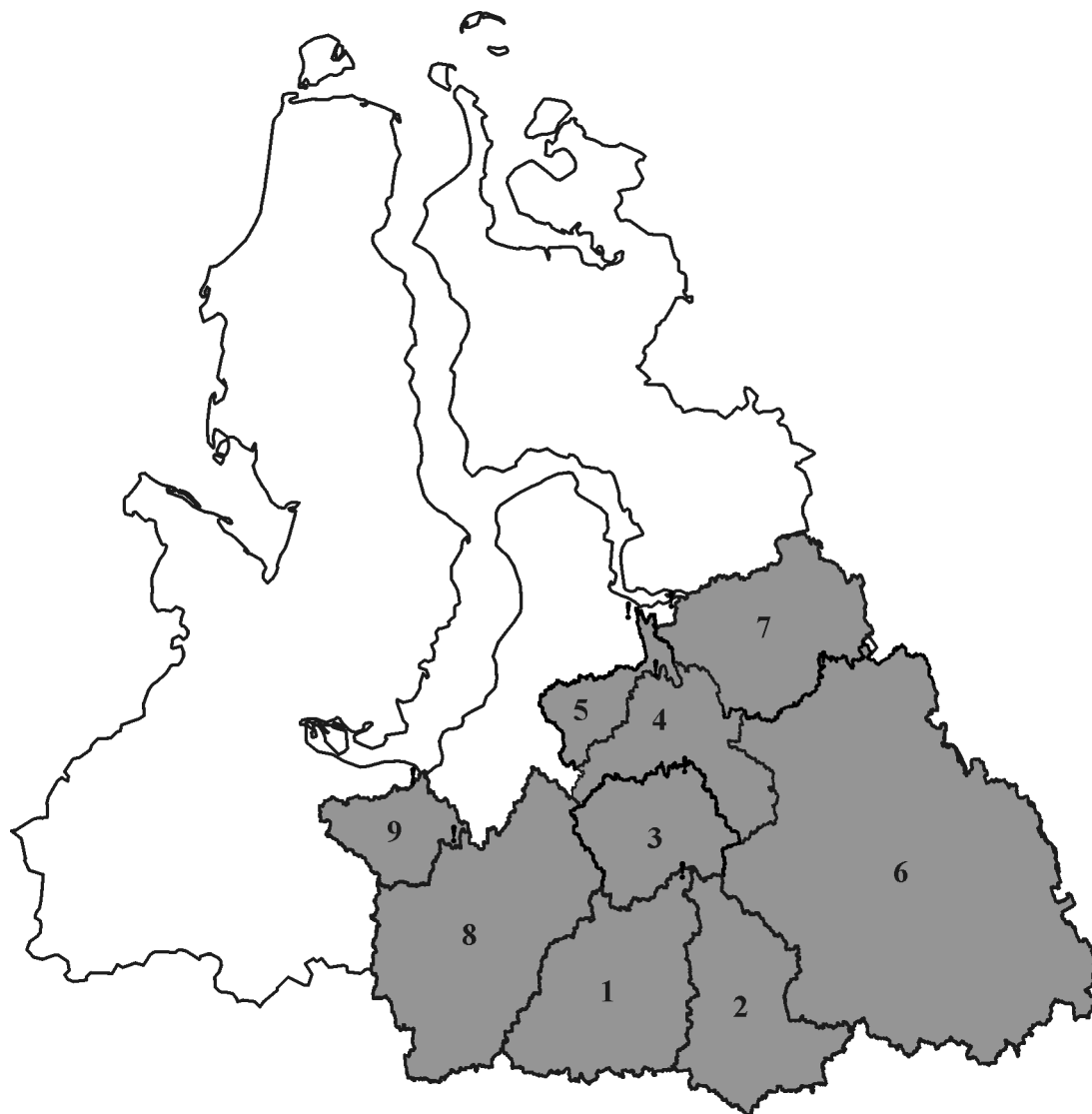


Рис. 4. Расчетные частные водосборы.

1 – р. Пякупор, 2 – р. Айваседо-Пур, 3 – р. Пур (г. Тарко-Сале – г. Уренгой), 4 – р. Пур (г. Уренгой – г. Самбург), 5 – р. Пур (г. Самбург – устье), 6 – р. Таз (исток – п. Сидоровск), 7 – р. Таз (п. Сидоровск – устье), 8 – р. Надым (исток – г. Надым), 9 – р. Надым (г. Надым – устье), точки – пункты гидрометрических наблюдений.

потока до отрицательных значений («береговое регулирование» по Б.И. Куделину [1960]). В данный момент подземное питание отсутствует и река питается только талыми или дождевыми водами.

При определении величин подземного стока (как части водного баланса) рассматриваемых подбассейнов, использовались гидрографы крупных рек, дренирующих данные территории. Кривые уровней и расходов описывают многолетние данные водомерных постов гг. Надым, Тарко-Сале, Уренгой, Самбург и др.

Уровенный режим рек бассейна имеет ряд особенностей, связанных с наличием многолетней мерзлоты и значительной заболоченностью территории. Он отличается быстрым подъемом уровня воды в период весеннего половодья, который нередко начинае-

ся еще при ледоставе и менее интенсивным спадом из-за таяния снега на мерзлой почве, повышенным летне-осенним стоком, а также низкой водностью зимой (зимней меженью) вследствие истощения подземного питания в районе вечной мерзлоты. Гидрографы половодья имеют плавное одновершинное очертание. Для всех крупных рек округа характерно концентрированное половодье, обусловливаемое тем, что по течению реки с юга на север вместе с волной внешних вод продвигается и линия снеготаяния. Большая часть воды стекает в весенне-летний период – период интенсивного снеготаяния, меньшая часть стока приходится на осеннее и зимнее время года. Этим и объясняется высокий подъем уровня воды весной, спад – летом, низкие уровни – в зимний период (подземное питание рек).

Таблица 1. Основные гидрологические показатели по рекам ЯНАО для определения подземного стока

Гидрограф	Площадь бассейна (F) м ²	Площадь гидрографа (S) м ³ /год			Осенние осадки, (м ³ /год)	Весь подземный сток (м ³ /год)	Общий сток (м ³ /год)	Объем стока талых вод ко всему объему стока, %	Объем осеннего дождевого стока от всего объема, %	Объем подземного стока от всего объема, %
		Подземный сток (1)	Подземный сток и осенние осадки (2)	Поверхностный сток (3)						
р. Пур (г. Самбург)	96,5·10 ⁹	3,2·10 ⁹	8,0·10 ⁹	16,0·10 ⁹	4,6·10 ⁹	6,6·10 ⁹	27,2·10 ⁹	59	17	24
р. Пур (г. Уренгой)	77,3·10 ⁹	2,7·10 ⁹	8,2·10 ⁹	12,6·10 ⁹	4,7·10 ⁹	6,2·10 ⁹	23,5·10 ⁹	54	20	26
р. Айваседа-Пур (г. Тарко-Сале)	29,9·10 ⁹	0,5·10 ⁹	4,2·10 ⁹	3,8·10 ⁹	2,37·10 ⁹	2,3·10 ⁹	8,5·10 ⁹	56	27	28
р. Надым (г. Надым)	50,8·10 ⁹	1,42·10 ⁹	5,0·10 ⁹	7,8·10 ⁹	3,4·10 ⁹	3,0·10 ⁹	14,2·10 ⁹	55	24	21

Ниже приводится пример расчленения гидрографа р. Пур по генетическим признакам питания (рис. 3). Река является главной водной артерией Пуровского подбассейна. По водоносности она занимает четвертое место в Тюменской области и третье – в ЯНАО. Образуется слиянием рек Пякупур и Айваседа-Пур, истоки которых находятся на северных склонах Сибирских Увалов.

Для определения составляющих элементов питания используются данные по двум створам (выше и ниже по течению). Начало весеннего половодья в верхнем и замыкающем створах отмечается практически одновременно, поэтому прекращение стока подземных вод в реку из эоцен-четвертичного водоносного комплекса наступает одновременно (на гидрографе отмечено линией АВ). Окончание берегового регулирования совпадает с окончанием половодья, которое обозначается линией DE. Точки К и F определяют окончание и начало «добегания» подземных вод с верховьев реки до замыкающего створа при половодье (при береговом регулировании).

Определение суммарного стока за весь год производится по гидрографу с помощью нахождения его площади. Далее по гидрографу выделяются объемы подземного и снегового стока, выраженные в процентах к годовому стоку (области 1, 2, 3 на графике).

Аналогичный анализ был проведен по гидрографам р. Айваседа-Пур (правый приток р. Пур) и р. Надым. Результаты расчетов приводятся в табл. 1.

Рассматривая полученные результаты, можно сказать, что питание рек смешанное с преобладанием снегового, величина подземного питания составляет 25-30 % от общего стока рек. Таким образом, в формировании режима рек можно выделить следующие источники питания: снеговое, дождевое и подземное питание, процентное соотношение которых приведено в табл. 1. Величина дождевого питания определяется как разность между атмосферными осадками в теплый период года и испарением на исследуемой площади. Для вычисления испаряемости использована эмпирическая формула Н.Н. Иванова [1941]:

$$E = 0,0015(25 + t) \times (25 + t) \times (100 - a),$$

где E – суммарная испаряемость за месяц в мм, t – среднемесячная температура воздуха в градусах Цельсия, a – относительная влажность воздуха в процентах. Среднегодовое количество осадков, влажности и температуры принималось по данным многолетних наблюдений метеостанций ЯНАО (с 1939 по 1995 гг.).

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА

Количественная оценка элементов уравнения водного баланса может быть выполнена разными методами. Для условий севера ЗСМБ оптимальным принимается метод оценки по результатам гидрометрических работ. Использование гидрометрических данных основа-

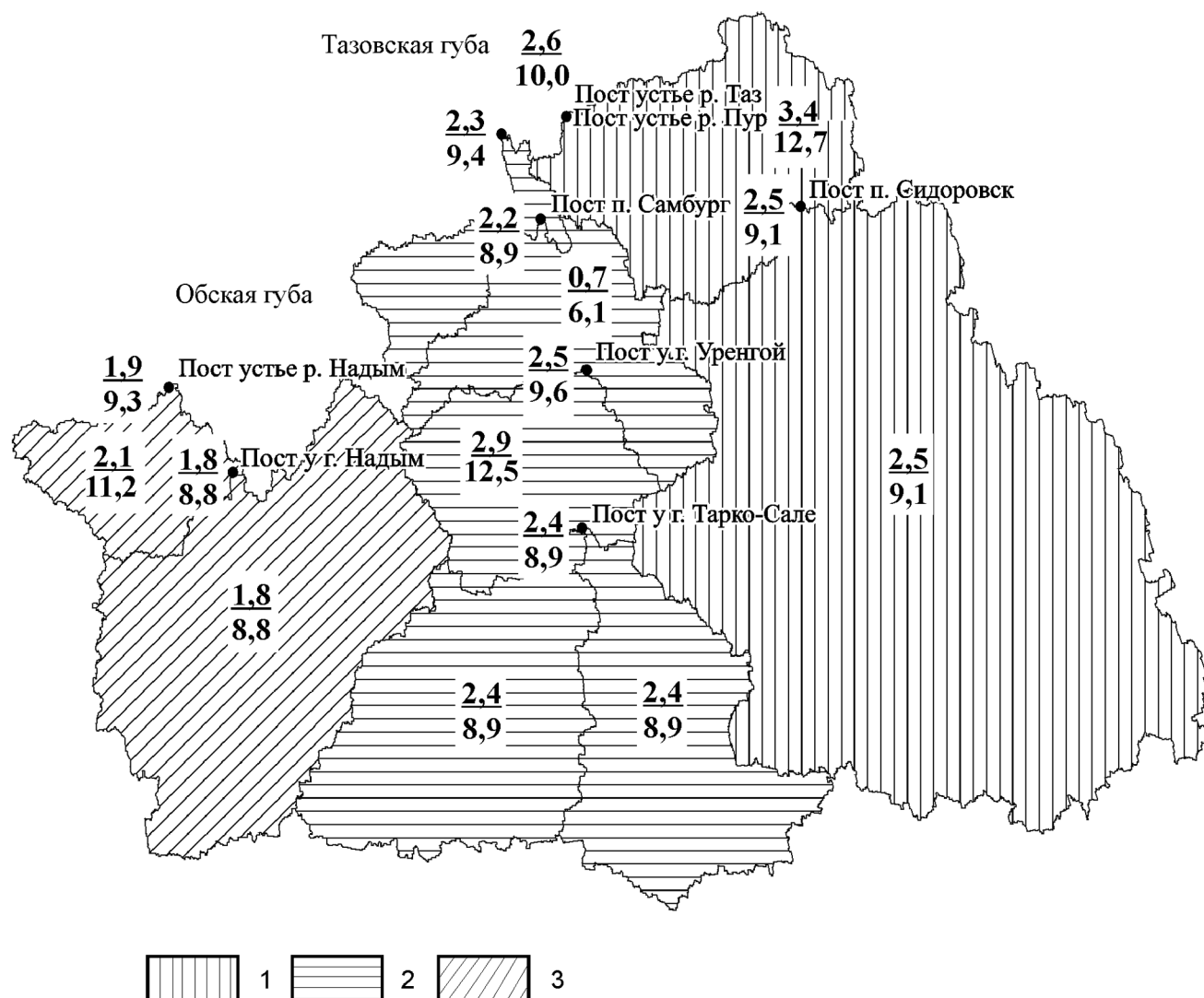


Рис. 5. Стоковые характеристики группы бассейнов.

1-3 – Подбассейны стока: 1 – Газовский, 2 – Пуровский, 3 – Надымский. Дробь: цифра сверху – модуль подземного стока, л/сек/км², цифра снизу – модуль общего стока, л/сек/км².

но на решении балансового уравнения частного водосбора, с учетом значений подземного стока зоны интенсивного водообмена [Всеволожский, 1983]:

$$W_p = Q_1 - Q_2 - (M \times F),$$

где W_p – суммарная величина разгрузки артезианских вод на площади расчетного участка, л/с; Q_1 и Q_2 – расходы на гидрометрических створах, ограничивающих водосборную площадь, л/с; M – модуль меженного подземного стока зоны интенсивного водообмена, л/с с км²; F – площадь расчетного участка, км².

Как уже указывалось ранее, для изучаемой территории имеется ряд гидрометрических наблюдений за достаточно длительный период, что предполагает получение достоверных результатов [Всеволожский, 1983]. Имеющиеся гидрометрические данные по северной

группе бассейнов кайнозойско-меловой системы стока позволяют выделить ряд частных водосборов (рис. 4).

По выделенным водосборным площадям решены уравнения для частных водосборов с определением общего (поверхностный и подземный) стока. Для каждой водосборной площади рассчитывалось среднееголетнее количество осадков, величина испарения (расчетным методом), по разности которых определялся общий объем стока на выделенном водосборе (табл. 2).

Расчленение гидрографов по замыкающим частные водосборы створам позволяет выделить из общего стока его составляющие элементы – подземный и поверхностный сток. Сток суммировался нарастающим итогом от верховий дренирующей сети подбассейна к устью.

Таблица 2. Расчет общего стока на исследуемой территории

№	Бассейн	Частный водосбор	Площадь (м ²)	Осадки (мм)	Испарение (мм)	Осадки на частный водосбор Q _c (м ³ /год)	Испарение на водосборе И _c (м ³ /год)	Общий сток на водосборе С _c (м ³ /год)
1	Пуровский	Ниж. створ р. Пур (г. Самбург)	96,5·10 ⁹	525,1	244	50,7·10 ⁹	23,5·10 ⁹	27,2·10 ⁹
		Верх. створ р. Пур (г. Уренгой)	77,3·10 ⁹	546,5	236	42,2·10 ⁹	18,2·10 ⁹	24,0·10 ⁹
		р. Айваседо-Пур (г. Тарко-Сале)	29,9·10 ⁹	568,0	283	17,0·10 ⁹	8,5·10 ⁹	8,5·10 ⁹
		р. Пякупур (г. Тарко-Сале)	32,5·10 ⁹	570,0	290	18,5·10 ⁹	9,4·10 ⁹	9,1·10 ⁹
2	Весь бассейн		111,9·10⁹	485,0	190	54,27·10⁹	21,2·10⁹	33,1·10⁹
	Надымский	р. Надым (г. Надым)	50,8·10 ⁹	468,0	187	23,8·10 ⁹	9,5·10 ⁹	14,3·10 ⁹
3	Весь бассейн		64,0·10⁹	434,5	138	27,7·10⁹	8,83·10⁹	18,87·10⁹
		р. Таз (пос. Сидоровск)	114,6·10 ⁹	511,6	221	58,5·10 ⁹	25,3·10 ⁹	33,2·10 ⁹
	Весь бассейн		150,0·10⁹	446,3	130	66,9·10⁹	19,5·10⁹	47,4·10⁹

Таблица 3. Подземный сток

Бассейн	Водосбор	Площадь (м ²)	Общий сток на участке (м ³ /год)	Подземный сток на участке (м ³ /год)
Пуровский	р. Айваседо-Пур	29,9·10 ⁹	8,5·10 ⁹	2,3·10 ⁹
	р. Пякупур	32,5·10 ⁹	9,1·10 ⁹	2,5·10 ⁹
	от верховий рр. Айваседо-Пур и Пякупур до створа в п. Тарко-Сале	62,4·10 ⁹	17,6·10 ⁹	4,8·10 ⁹
	г. Тарко-Сале - г. Уренгой	14,9·10 ⁹	5,9·10 ⁹	1,4·10 ⁹
	г. Уренгой - г. Самбург	19,2·10 ⁹	3,7·10 ⁹	0,4·10 ⁹
	Весь бассейн	111,9·10 ⁹	33,1·10 ⁹	8,2·10 ⁹
Надымский	от верховий бассейна до створа в г. Надым	50,8·10 ⁹	14,2·10 ⁹	3,0·10 ⁹
	от створа в г. Надым до устья	13,2·10 ⁹	4,67·10 ⁹	0,9·10 ⁹
	Весь бассейн	64,0·10 ⁹	18,87·10 ⁹	3,9·10 ⁹
Тазовский	от верховий бассейна до створа в пос. Сидоровск	114,6·10 ⁹	33,2·10 ⁹	8,9·10 ⁹
	от створа в пос. Сидоровск до устья	35,4·10 ⁹	14,2·10 ⁹	3,8·10 ⁹
	Весь бассейн	150,0·10 ⁹	47,4·10 ⁹	12,7·10 ⁹

Большой объем гидрохимических данных, полученных авторами в ходе многолетних исследований, позволил использовать альтернативный метод оценки величин подземного стока, основанный на использовании данных о химическом составе подземных и поверхностных вод. С помощью гидрохимических расчетов оценивается разгрузка подземных вод между двумя створами, когда разница между расходами Q_1 и Q_2 лежит в пределах точности измерений, а подземные и поверхностные воды различаются по концентрации каких-либо компонентов, например минерализации. Тогда:

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = Q_1 \times \frac{C_2 - C_1}{C_{\text{подз.}} - C_2},$$

где C_1 , C_2 , $C_{\text{подз.}}$ – соответствующие значения концентраций (мг/л) в первом (1) и втором (2) гидрометрических створах и в подземных водах [Лебедев, 1976]. Для частного водосбора р. Пур (г. Тарко-Сале – г. Уренгой):

$$\Delta Q = 4,8 \times 10^9 \times \frac{58,9 - 42,16}{115 - 58,9} = 1,4 \times 10^9 \text{ м}^3/\text{год},$$

Сравнивая рассчитанные гидрометрическим методом величины подземного питания данного водосбора ($\Delta Q = 1,4 \times 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$), получаем аналогичный результат (табл. 3).

Проведенные расчеты подтвердили хорошую сходимость количественной оценки элементов уравнения водного баланса для северной группы бассейнов стока и позволили обосновать их количественные характеристики (табл. 3).

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТОКА И ВОДНОГО БАЛАНСА

Подземный и поверхностный сток являются одними из элементов водного баланса. Они тесным образом связаны с осадками и испарением. Сток прежде всего зависит от климатических факторов, а распределение его по территории подчинено определенной климатической зональности. На величину стока оказывают влияние не только климатические условия, но и ряд других факторов, а именно: геологическое строение бассейна, наличие растительного покрова и т. д.

На исследуемой площади можно выделить 4 группы основных природных факторов формирования подземного стока верхнего этажа (табл. 4).

Влияние гидрометеорологических и геоморфологических факторов обуславливает тесную связь распределения величин поверхностного и подземного стока. Наиболее полно, на рассматриваемой территории, изучены только гидрометеорологические факторы. Гидрогеологические и геоэкологические данные имеют разрозненный характер и не

Таблица 4. Основные природные факторы формирования и распределения величин подземного стока исследуемой территории [Всеволожский, 1983]

Группа факторов	Основные стокообразующие факторы
Гидрометеорологические	Типы и формы атмосферной циркуляции, атмосферные осадки, суммарное испарение
Геолого - гидрогеологические	Состав, мощность и фильтрационные свойства пород и зоны аэрации, проводимость водовмещающих пород, гидравлические градиенты потоков подземных вод
Геоморфологические	Характер рельефа, эрозионная расчлененность, плотность гидрографической сети
Криогенные	Характер распространения многолетнемерзлых пород, мощность и глубина залегания

позволяют достоверно учесть их дискретное влияние на стоковые характеристики.

Вследствие чего, для выявления закономерностей распределения подземного стока, которые должны отражать его особенности как элемента баланса, используется такая интегральная количественная характеристика как модуль подземного стока. Результаты анализа распределения величин модуля стока северной группы бассейнов кайнозойско-меловой системы стока показывают, что изменения имеют зональный характер. В широтном направлении, с юга на север, идет изменение соотношения между величиной поверхностного и подземного стока в сторону уменьшения последнего. Исключением является центральная

часть Пуровского бассейна (от г. Тарко-Сале до г. Уренгой), где происходит увеличение модуля общего (до 12,5 л/с/км²) и подземного (до 2,9 л/с/км²) стока (рис. 5).

Как показали ранее проведенные исследования [Иванов и др, 2003], гидрогеологические параметры данного частного водосбора имеют повышенные фильтрационные свойства, изменяющие стоковые характеристики данной территории в сторону их локального возрастания (рис. 6).

Севернее поста г. Уренгой модули подземного и поверхностного стока уменьшаются в два раза. Предположительно, основную роль в формировании данной зональности играет характер распространения многолетнемерзлых пород, мощность и глубина их

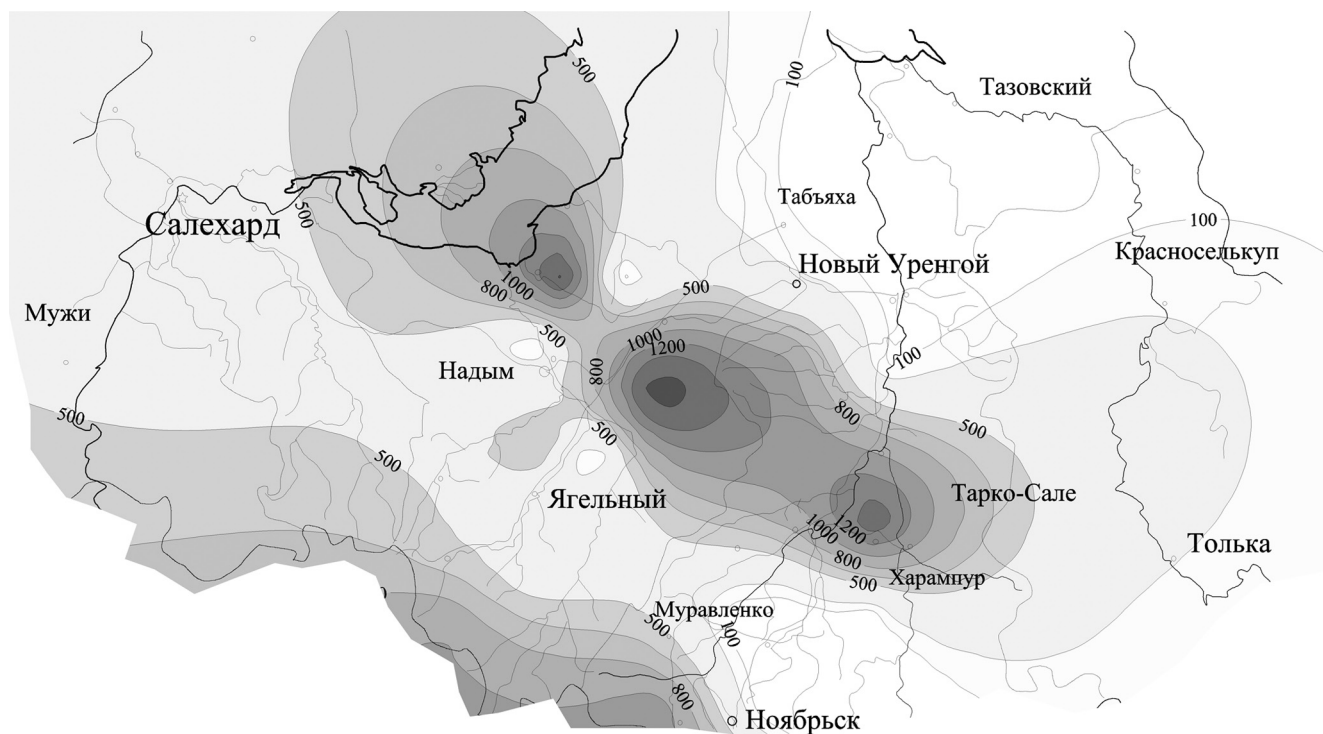


Рис. 6. Схематическая карта водопроводимости эоцен-четвертичного водоносного комплекса, м²/сут.

Таблица 5. Расчет модуля подземного стока и коэффициента водообмена

Бассейн	Подбассейн (участок)	Модуль общего стока (M_o) ($л/с/км^2$)	Модуль подземного стока (M_n) ($л/с/км^2$)	Мощность водопроницаемой толщи (m), м	Объем пород ($м^3$)	Объем открытых пор 20 % от общего объема пород ($м^3$)	Содержание ММП в %	Объем открытых пор с учетом ММП ($м^3$)	Коэффициент водообмена, лет
Пуровский	р. Айваседо-Пур	9,0	2,4	113,7	$3399 \cdot 10^9$	$680 \cdot 10^9$	~20	$544 \cdot 10^9$	236
	р. Пякупур	8,9	2,4	113,7	$3695 \cdot 10^9$	$739 \cdot 10^9$	~20	$591 \cdot 10^9$	236
	от верховой р. Айваседо-Пур и р. Пякупур до створа в г. Тарко-Сале	8,9	2,4	113,7	$7095 \cdot 10^9$	$1419 \cdot 10^9$	~20	$1135 \cdot 10^9$	236
	от верховой до створа в г. Уренгой	9,6	2,5	99,1	$7652 \cdot 10^9$	$1530 \cdot 10^9$	~34	$1010 \cdot 10^9$	163
Надымский	от верховой до створа в г. Самбург	8,9	2,2	99,3	$9582 \cdot 10^9$	$1916 \cdot 10^9$	~49	$977 \cdot 10^9$	148
	Весь бассейн	9,4	2,3	99,3	$11123 \cdot 10^9$	$2225 \cdot 10^9$	~49	$1135 \cdot 10^9$	138
	от верховой до створа в г. Надым	8,8	1,8	90	$4572 \cdot 10^9$	$914 \cdot 10^9$	~50	$457 \cdot 10^9$	152
	Весь бассейн	9,3	1,9	90	$5760 \cdot 10^9$	$1152 \cdot 10^9$	~45	$634 \cdot 10^9$	162
Тазовский	от верховой до створа в пос. Сидоровск	9,1	2,5	65	$7449 \cdot 10^9$	$1490 \cdot 10^9$	~43	$849 \cdot 10^9$	95
	Весь бассейн	10,0	2,6	65	$9750 \cdot 10^9$	$1950 \cdot 10^9$	~40	$1170 \cdot 10^9$	93

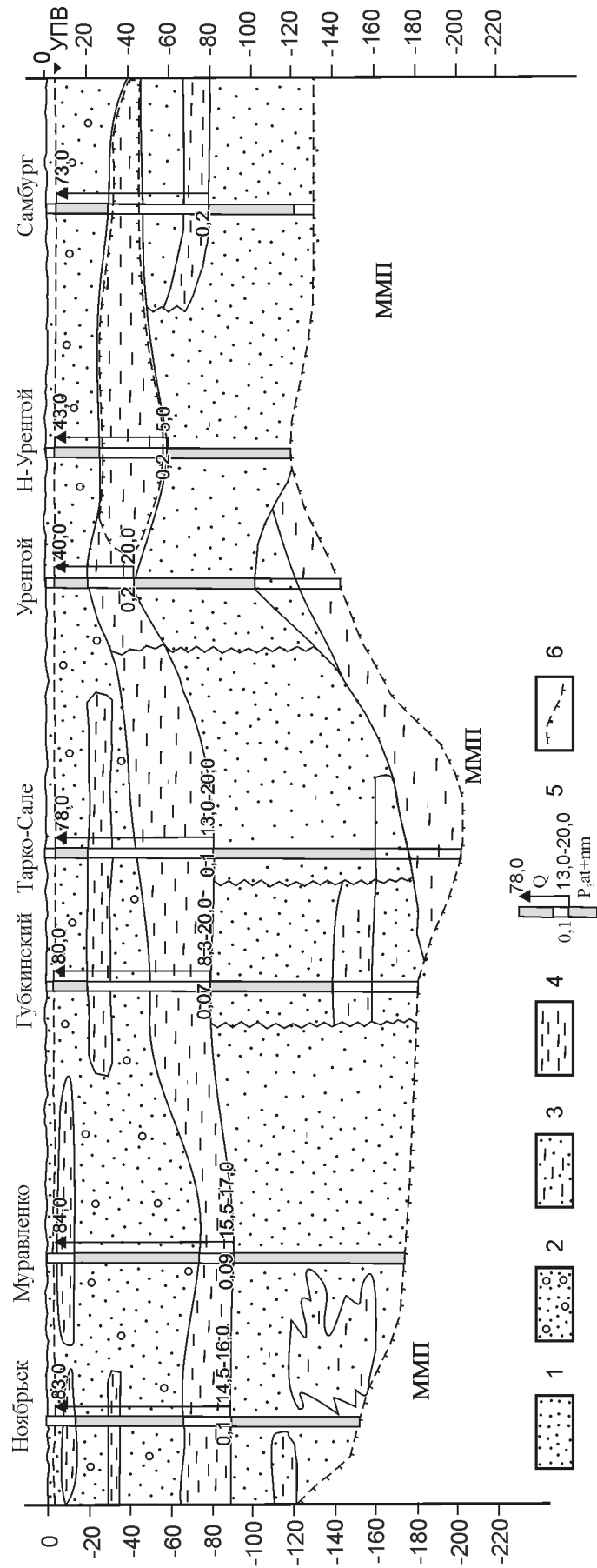


Рис. 7. Гидрогеологический разрез по долине р. Пур.
1 – песок разнородный с гравием; 2 – песок разнородный с гравием; 3 – песок среднерудный с гравием; 4 – глина; 5 – скважины (закрашены водоносные горизонты, черная стрелка – напор подземных вод в м, цифры у стрелки – абсолютная отметка пьезометрического уровня воды, цифры слева – минерализация воды в г/л, цифры справа – дебит в л/с и понижение в м); 6 – граница распространения многолетнемерзлых пород (ММП).

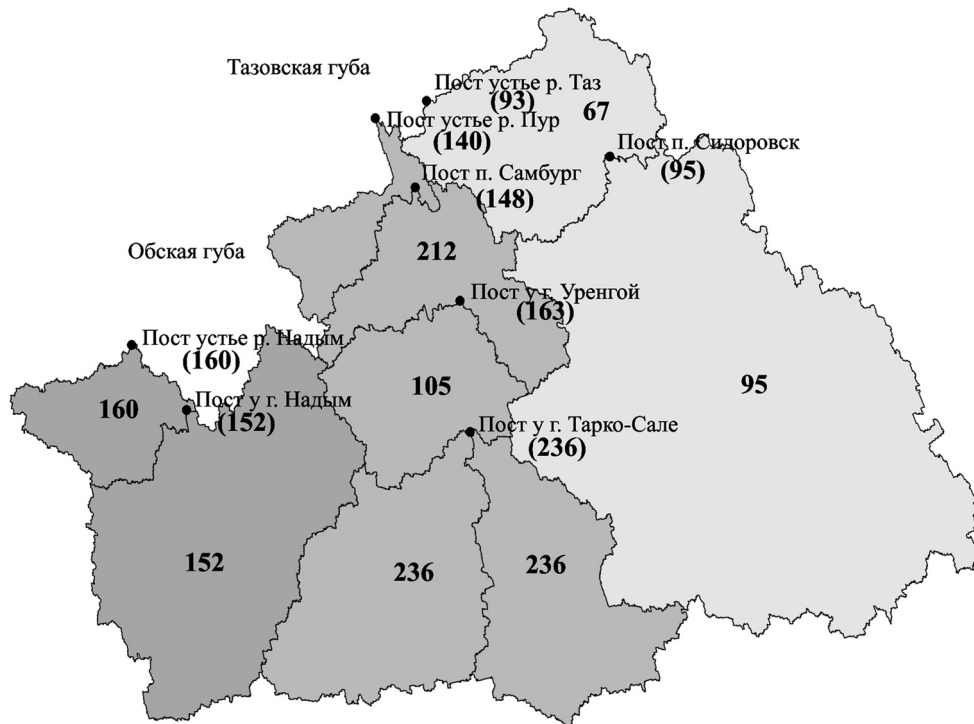


Рис. 8. Коэффициент водообмена в годах.

залегания. На данной широте зона разобщённого залегания современных и древних многолетнемерзлых пород (ММП) сменяется зоной слитного залегания последних. При увеличении льдистости происходит снижение фильтрационных параметров эоцено-четвертичного водоносного комплекса, что приводит к уменьшению инфильтрационного питания.

УСЛОВИЯ И СРОКИ ВОДООБМЕНА В ВЕРХНЕМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ ЭТАЖЕ БАСЕЙНА

Понятие коэффициент водообмена было введено Г.Н. Каменским, который предложил рассчитывать его из отношения годового расхода подземных вод к общим запасам воды в бассейне, пласте, элементе пласта:

$$K = Q/V_{\text{геол}}$$

где Q – расход подземных вод, $\text{м}^3/\text{год}$; $V_{\text{геол}}$ – объем геологических запасов подземных вод, м^3 [Каменский, 1959]. В настоящее время условия водообмена чаще всего характеризуют обратной величиной τ , называемой сроком водообмена [Всеволожский, 1983].

Б.И. Куделиным [1960] предложена зависимость для расчета срока водообмена в виде:

$$\tau = (F \times m \times n)/Q,$$

где m – средняя мощность водовмещающих пород, в метрах; n – пористость; Q – расход подземных вод, $\text{м}^3/\text{год}$; F – площадь расчетной структуры, км^2 .

Использование этой зависимости и данных о параметрах подземного стока позволило количественно оценить величину водообмена для изучаемой группы бассейнов стока (табл. 5).

Оценка сроков водообмена в эоцено-четвертичных отложениях верхнего этажа ЗСАБ, выполненная для конкретных участков (частных водосборов), показывает их зависимость от продуктивной мощности водопроницаемой толщи (рис. 7). Так же, несомненно, свое влияние вносит и многолетняя мерзлота, сокращая сроки водообмена (рис. 8). Участки с наименьшей скоростью водообмена отмечаются в Пуровском и Надымском подбассейнах (150-200 лет). К наибольшей скорости водообмена следует отнести Тазовский бассейн (около 100 лет), мощность эоцено-четвертичного комплекса которого меньше, чем в соседних бассейнах, разрез сложен хорошо проницаемыми породами с меньшим количеством многолетнемерзлых пород.

ВЫВОДЫ

Учет изменения экологической устойчивости систем возможен только на основании моделирования водного баланса элементарных участков, где осуществляется антропогенная нагрузка и где происходят значительные преобразования водного и теплового режима. Проведенные исследования показывают, что оптимальное выделение

таких участков для северной группы бассейнов кайнозойско-меловой системы стока производится с использованием гидрометрического метода оценки балансовых характеристик, что позволяет создать достоверную эколого-гидроклиматическую модель устойчивости стокоформирующих комплексов.

Расчеты элементов водного баланса выделенных подбассейнов обнаруживают значительную подземную составляющую в общем стоке – до 25 %. При этом выявлены региональные закономерности в распределении подземного стока, которые в первую очередь зависят от мерзлотных и фильтрационных параметров водовмещающих пород.

Оценка сроков водообмена кайнозойско-меловой системы бассейнов указывает на высокие скорости смены суммарного объема стока, значительную проницаемость вмещающих пород, что, как следствие, приводит к малой литогенной составляющей общей минерализации подземных вод. Высокая кратность водообмена эоцен-четвертичного водоносного комплекса определяет отсутствие в составе подземных вод следов процессов криогенной метаморфизации и реликтов палеостока. Современный генезис подземных вод подтверждают и данные их изотопного состава [Крицук, Поляков, 2005], в котором соот-

ношение $\delta^{18}\text{O}$ и δD указывает на их метеогенное происхождение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Всеволожский В.А.* Подземный сток и водный баланс платформенных структур. М.: Недра, 1983. 167 с.
- Иванов Н.Н.* Зоны увлажнения земного шара // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. 1941. № 3. С. 261-288.
- Иванов Ю.К., Бешенцев В.А., Ковальчук А.И. и др.* Оценка ресурсов и качества подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Тюмень: ОАО СибНАЦ, 2003. С. 261-288.
- Каменский Г.Н., Толстихина М.М., Толстухин Н.И.* Гидрогеология СССР М.: Недра, 1959. 365 с.
- Крицук Л.Н., Поляков В.А.* Изотопный и химический состав подземных вод и природных вод Западной Сибири. М.: Геоинформмарк, 2005. 52 с.
- Куделин Б.И.* Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1960. 342 с.
- Лебедев А.В.* Методы изучения баланса грунтовых вод. Изд. 2-е. М.: Недра, 1976. 223 с.
- Матусевич В.М.* Гидрогеологические бассейны Западно-Сибирской равнины. 27 сессия МГК. Тезисы. Т. IX. Ч. 2. М.: Наука, 1984. С. 373-374.
- Смоленцев Ю.К.* Пресные подземные воды Западно-Сибирского мегабассейна. Автореф. докт. дисс. Иркутск. 1995. 50 с.

Рецензент доктор геол.-мин. наук С.Н. Тагильцев