Записки Ленинградского горного института имени Г.В.Плеханова.
Т. 129. Л., 1991

УДК 556.168: [556.62:556.12] (470.23)

Л.Е.ГРЕЙСЕР

ФОРМИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИЖОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ижорское месторождение подземных вод (ИМПВ), типичное месторождение трещинно-карстовых вод гумидных областей, представляет собой водоносную систему, расположенную в пределах Ижорской возвышенности и включающую пресные подземные воды в карбонатной толще ордовика и песках и песчаниках кембро-ордовика. На западе, севере и северо-востоке месторождение ограничено Балтийско-Ладожским уступом (глинтом) - естественной границей распространения ордовикских и кембро-ордовикских отложений. Южная и юго-восточная границы условно определены распространением девонских отложений. Геолого-гидрогеологические условия ИМПВ (рис.I, 2) подробно освещены в работе [3]. С поверхности под безводными, но проницаемыми валунными суглинками (мощность 2-I0 м) залегают известняки и доломиты ордовика (мощность до I30 м), в которых формируется основной на месторождении ордовикский водоносный комплекс (ОВК) преимущественно безнапорных вод. Радиальный поток подземных вод ордовика направлен от центра месторождения к его периферии. Кембро-ордовикский водоносный горизонт (КОВГ) в песках и слабосцементированных песчаниках (мощность 5-25 м) залегает на глубине I9-I40 м. ОВК и КОВГ разделяют глинистые песчаники и диктионемовые сланцы пакерортско-леэтского относительного водоупора. Основной поток КОВГ направлен в сторону погружения водовмещающих пород на юг, а отметки его пьезометрической поверхности снижаются в этом направлении от I20 до 70 м.

Количество осадков, выпадающих на Ижорской возвышенности, превышает величину испарения: среднемноголетние их значения за I95I-I988 гг. соответственно 664 и 362 мм. Равнинный рельеф, интенсивное развитие поверхностных форм карста, высокая проницаемость пород зоны аэрации способствуют поглощению атмосферных осадков. Благодаря этому на возвышенности поверхностный сток практически отсутствует.

Под естественными ресурсами ИМПВ мы понимаем суммарное возобновляемое питание подземных вод этой водоносной системы за счет инфильтрации атмосферных осадков, обеспечивающее их разгрузку на периферии месторождения и отток за его пределы. Естественные ресурсы формируются на всей площади распространения ОВК, за исключением области разгрузки (см. рис.I) Таким образом, ресурсы ОВК и всего месторождения соответствуют друг другу. Основная часть питания затем участвует в латеральной фильтрации ОВК, определяя его подземный сток, а часть его расходуется на перетекание через относительный водоупор в КОВГ. Питание КОВГ происходит на всей площади ИМПВ, так как его пьезометрическая поверхность ниже уровней ОВК. Многолетние изменения уровней КОВГ не превышают I-2 м, т.е. расход его потока практически постоянен.

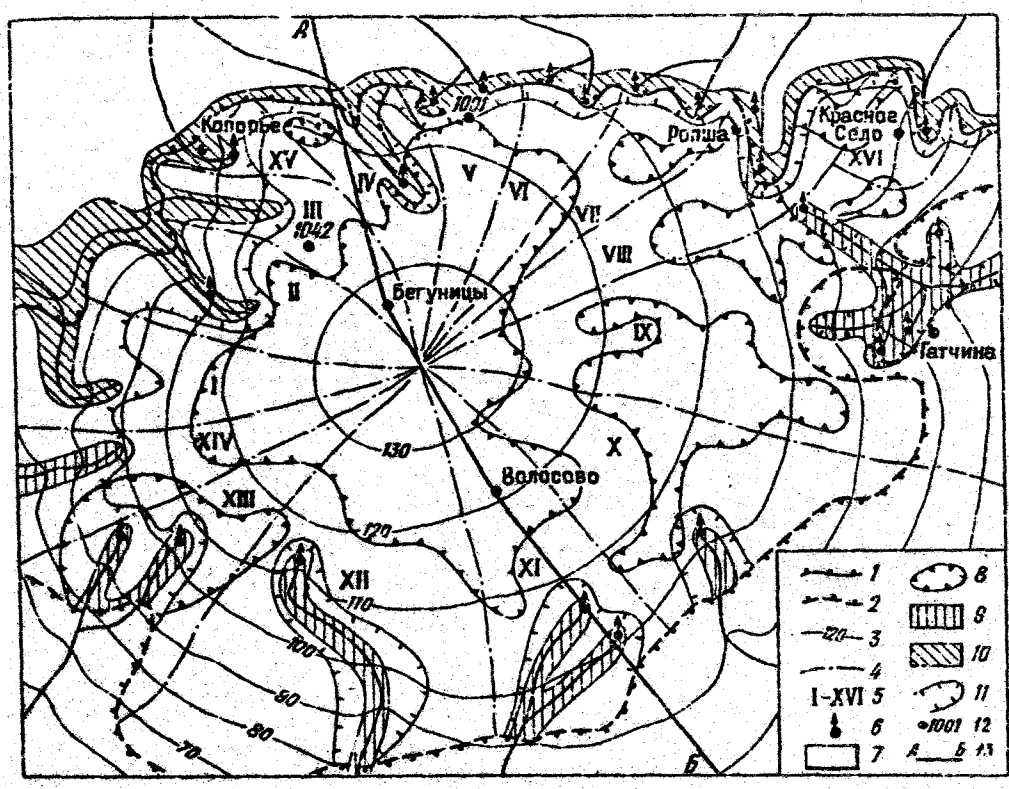


Рис.1. Схема формирования естественных ресурсов ордовикского водоносного комплекса (ОВК) Ижорского месторождения подземных вод

1 – глинт; 2 – граница распространения девонских отложений; 3 – гидро- и пьезоизогипсы ОВК, среднемноголетние; 4 – водоразделы бассейнов подземного стока; 5 – бассейны стока рек: I – Сумс, II – Систа, III – Ламошка, IУ – Воронка, У – Лодухинка, УI – Черная, УII – Шингарка, УIII – Стрелка, IX – Ижора, X – Оредеж, XI – Лемовка, XII – Вруда, XIII – Хревица, XIУ – Солка, XУ – Копорка, XУI – Дудергофка; 6 – родники с дебитом более 1 тыс.м^3/сутки; 7 – область питания ОВК; 8 – район интенсивного развития поверхностных форм карста – район инфильтрационно-инфлюационного питания ОВК; 9 и 10 – область разгрузки ОВК, напорной и безнапорной; 11 – граница зоны с поверхностным стоком в реки; 12 – наблюдательные скважины; 13 – линия гидрогеологического разреза

Подземный сток ОВК соответствует величине разгрузки подземных вод на периферии месторождения (подземный сток в реки) и оттоку на юг за пределы месторождения. Подземный сток в реки формируется в верхней, наиболее трещиноватой части карбонатной толщи ордовика, так называемой "активной зоне" ОВК, которая развита до глубины 30-50 м и контролируется положением основных базисов дренажа ОВК (тыловым швом глинта на севере и границей пород девона на юге), создающих подпор потоку подземных вод ордовика. Интенсивная трещиноватость, усиленная карстовыми процессами, обусловила высокую проницаемость ордовикских отложений. Водопроводимость здесь 2000-5000 м^2/сутки, на отдельных участках до 10000 м^2/сутки и выше. Ниже

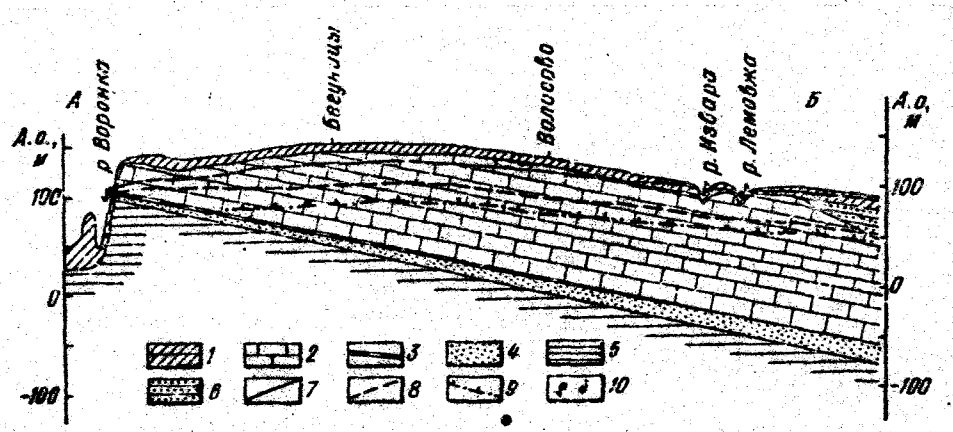


Рис.2. Гидрогеологический разрез
1 – суглинки валунные; 2 – известняки и доломиты ордовика; 3 – глинистые песчаники и диктионемовые сланцы копорско-леэтского водоупора; 4 – пески и песчаники кембро-ордовика; 5 – кембрийские глины; 6 – песчаники, глины и мергели девона; 7 и 8 – уровни подземных вод ордовикского водоносного комплекса и кембро-ордовикского водоносного горизонта; 9 – нижняя граница "активной зоны" ордовикского водоносного комплекса; 10 – родники

глубин 30–50 м фильтрационные характеристики известняков уменьшаются примерно на порядок. Формирующийся здесь поток уходит за пределы месторождения. Величина транзитного питания КОБГ и оттока за пределы месторождения составляет не более 5 % от величины естественных ресурсов ИМПБ. Таким образом, более 90 % естественных ресурсов месторождения составляет подземный сток в реки. Для его оценки рассмотрим условия разгрузки подземных вод ордовика и взаимодействие подземных и речных вод в разных частях месторождения.

На севере ОБК дренируется нисходящими родниками и пластовыми выходами по склону глинта. Наиболее крупные родники с дебитом 300–500 л/с, как правило, сосредоточены на абсолютных отметках 90–80 м и приурочены к зонам дробления пород, связанным с гляциодислокациями. Здесь берут начало реки Лопухинка, Рудица, Черная, Шингарка, Стрелка, Дудергофка. Подземный приток в них формируется при отсутствии гидравлической связи подземных и речных вод и нисходящем родниковом питании. Поверхностные водосборы рек выражены только в пределах склона глинта, и подземные воды практически полностью формируют речной сток.

В западной части месторождения разгрузка подземных вод начинается на расстоянии 10–20 км от глинта восходящими родниками с дебитом до 300 л/с, являющимися истоками рек Воронка, Копорка, Ламонка, Систа, Сума, Солка. Прорезая ордовикские породы, реки получают питание за счет сосредоточенных выходов подземных вод по берегам и в русле. Их расходы увеличиваются от истоков до границ месторождения в 6–10 раз, при этом ОБК дренируется полностью. И здесь приток в реки формируется в отсутствие гидравлической связи подземных и речных вод при нисходящем и восходящем (в истоках) родниковом питании. Долины рек выражены отчетливо, имеются значи

тельные поверхностные водосборы. При определении подземной составляющей в речном стоке в бассейнах этих рек необходимо учитывать и долю поверхностного стока [2].

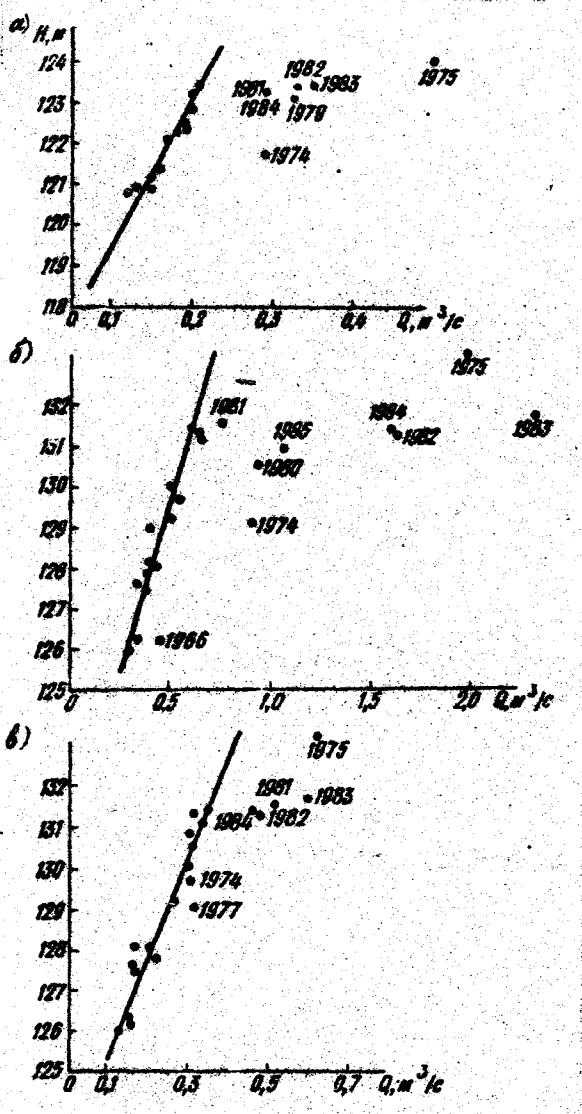


Рис.3. Графики связи минимальных зимних 30-суточных уровней подземных вод ОВК и расходов воды в реках за 1952-1986 гг. На графиках указаны такие годы с высокой водностью, т.е. обеспеченностью от 2 до 20 %

а - скважина 1001 и река Лопухинка (водный пост 1017);
б - скважина 1042 и река Сума (водный пост 1067);
в - скважина 1042 и река Ламонка (водный пост 1088)

Близи южной и юго-восточной границы месторождения крупными восходящими родниками (дебит до 200-300 л/с) изливается на поверхность та часть подземного потока ОВК, которую не могут пропустить погружающиеся под девонские отложения нижние, относительно слабопроницаемые слои ордовика. Здесь формируются истоки рек Хревица, Вруда, Лемовка, Ордеж и притоки реки Ижора: Верево, Парица, Теплая. Дальнейшее питание рек осуществляется восходящими родниками по берегам и субаквальными выходами, причем продолжается оно и после погружения ордовика под девонские отложения, на что указывает равномерное внутригодовое распределение стока рек [1].

Оперируя данными замеров расходов рек и родников, мы имеем дело уже с речным стоком. Поэтому для получения характеристик подземного стока необходимо из величин стока рек, определенных прямыми измерениями, выделить подземную составляющую. Прямое поступление талых и дождевых вод в реки возможно только на участках, примыкающих к глинту и долинам. Традиционное понятие "поверхностного водосбора", определяемого по гипсометрии

рельефа, теряет здесь физический смысл. Для площади всего месторождения можно рассматривать только водосборы рек, выделяемые по гидродинамической сетке (бассейны подземного стока), а в пределах водосборов - участки, где возможен поверхностный сток. В соответствии с этим выделены зоны, где поверхностный сток отсутствует или имеет место. Первая зона охватывает участки, где склоновый сток направлен к карстовым воронкам, и участки интенсивной инфильтрации с уклонами поверхности менее 0,002. Вторая зона оконтурена на территории, примыкающей к глинту и долинам рек, где склоновый сток направлен непосредственно к рекам. Здесь часть осадков будет расходоваться на инфильтрацию. В зависимости от уклонов поверхности, характера растительности, степени увлажненности почвы и других факторов доля перевода осадков в склоновый сток здесь может изменяться от 0 до 100 %. Методика расчета доли поверхностного стока в речном подробно рассмотрена в работе [2]. Основной приток дождевых и талых вод в реки происходит в периоды весеннего снеготаяния, осенних затяжных дождей и длительных зимних оттепелей. Наименьшая поверхностная составляющая ожидается в меженном зимнем речном стоке (рис.3). Данные по большинству лет образуют линейную зависимость расходов и уровней. Для лет высокой водности эта зависимость нарушается. В эти годы наблюдались продолжительные зимние оттепели, когда прямое поступление талых вод в реки было сопоставимо с паводковым, однако оттаивания почвогрунтов, а следовательно, и инфильтрации, сопровождавшейся подъемом уровня, не происходило. Для лет низкой и средней водности минимальный зимний речной сток практически соответствует подземному.

Оценивая естественные ресурсы ОБК следует отметить, что неравномерность его питания как по сезонам года, так и за многолетний период, приводит к значительным изменениям речного и соответственно подземного стока; максимальные и минимальные его величины отличаются в три раза (табл.I).

Таблица 1

Среднегодовой речной сток, 10^6 м^3/сутки

Год	Речной сток	Год	Речной сток	Год	Речной сток
1952	2,55	1963	2,22	1974	2,94
1953	2,99	1964	1,57	1975	2,56
1954	2,12	1965	1,64	1976	2,70
1955	2,51	1966	3,34	1977	2,35
1956	2,16	1967	2,56	1978	3,45
1957	3,26	1968	2,68	1979	2,67
1958	2,67	1969	1,85	1980	2,23
1959	2,22	1970	1,91	1981	3,52
1960	1,74	1971	2,41	1982	3,32
1961	2,72	1972	1,24	1983	3,11
1962	3,69	1973	1,44	1984	3,23

Максимальная величина водных ресурсов и соответствующие максимумы расходов родников и рек отмечают паводковым периодам. Наибольшие среднемесячные значения речного стока наблюдаются в апреле-мае, наименьшие - в декабре-марте. Но при этом гидрограф рек свидетельствует с регулирующем влиянии карста, сказывающемся на внутригодовом распределении речного стока: увеличении доли зимнего и соответственно уменьшении весеннего расхода по сравнению с реками соседних территорий, где карст отсутствует [3]. Внутригодовое распределение речного стока рек Ижорской возвышенности (табл.2) аналогично распределению подземного стока.

При такой изменчивости подземного стока естественные ресурсы ОВК могут быть оценены по различным его характеристикам: например, среднегодовому стоку или зимнему минимальному 30-суточному, а также по его значениям, как среднемноголетним, так и различной обеспеченности. Естественные ресурсы ОВК (табл.3), оцененные по среднемноголетней величине среднегодового подземного стока, составляют 2219 тыс.м^3/сутки, по среднемноголетней величине минимального зимнего 30-суточного стока 1007 тыс.м^3/сутки, а по величине минимального зимнего 30-суточного стока 95-процентной обеспеченности 464 тыс.м^3/сутки.

На Ижорском и других месторождениях трещинно-карстовых вод естественные ресурсы являются основным источником формирования эксплуатационных запасов. Привлечение их к водозаборам будет происходить путем инверсии родниковой разгрузки и подземного питания рек. В этих условиях особенно важен выбор такой гарантированной величины естественных ресурсов, которая обеспечивала бы и заданный водоотбор, и сохранение необходимого для данного района речного стока. Например, оценка ресурсов по величине минимального зимнего 30-суточного стока 95 % обеспеченности гарантирует сохранность стока рек даже в наиболее маловодные периоды. Если не ограничивать гарантированную величину естественных ресурсов предельными минимальными величинами подземного стока, то возможно и увеличение оцениваемых эксплуатационных запасов месторождения. Использование в расчетах вместо минимального зимнего 30-суточного подземного стока 95-процентной обеспеченности среднемноголетних его значений может дать прирост эксплуатационных запасов месторождения в 2,2 раза, а использование среднегодовых характеристик стока, учитывающих паводковое восполнение, в 4-5 раз. В маловодные годы и меженные периоды водоотбор может обеспечиваться сработкой емкостных запасов с последующим их восполнением. Высокая динамичность подземного стока позволяет существенно регулировать срабатываемую емкость. Однако возможность такого водоотбора должна быть обоснована гидрогеологическими расчетами: статистическим анализом рядов наблюдений за расходами родников и рек, исследованием продолжительности маловодных и многоводных периодов, определением емкостных запасов ОВК. Для обоснования выбора величины естественных ресурсов как основы при оценке эксплуатационных запасов месторождения необходимо дальнейшее изучение цикличности и распределения подземного стока и емкостных свойств трещиноватого коллектора. Определение этих величин - задача дальнейших исследований.

Таблица 2

Внутригодовое распределение речного стока, %

Река	Год	Месяц												Суммарный сток за год, млн.м³
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Систа	1985	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10,1	10,5	8,7	50,67
	1986	6,4	4,9	6,6	14,2	10,1	7,1	7,1	6,4	10,9	–	–	–	–
Воронка	1985	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,9	11,3	6,3	22,68
	1986	5,0	3,1	5,0	18,9	13,2	6,9	5,0	3,8	10,1	–	–	–	–
Копорка	1985	–	–	–	–	–	–	–	–	–	17,9	14,3	5,4	12,10
	1986	3,6	1,8	7,1	21,4	8,9	3,6	1,7	1,7	12,5	–	–	–	–
Стрелка	1894	–	–	–	–	–	–	–	–	12,0	10,6	10,1	8,5	64,0
	1895	7,6	5,3	4,6	10,3	11,9	7,2	6,0	5,9	–	–	–	–	–
Ижора (станция Пудость)	1967	6,79	6,11	5,44	11,4	16,5	14,9	11,3	8,20	5,10	3,68	3,68	4,88	28,9
	1968	5,60	4,26	4,80	12,0	14,9	13,3	10,5	8,89	6,22	5,24	7,02	7,24	22,5
	1969	5,90	5,74	4,92	8,30	14,7	18,0	12,9	9,23	7,23	6,00	4,77	4,51	19,5
	1970	4,84	4,78	4,35	8,65	16,2	15,7	11,3	6,99	6,34	6,02	6,88	8,12	18,6
	1971	4,77	5,62	6,51	12,7	19,2	13,8	10,4	7,75	6,51	5,15	4,11	3,41	25,8
	1972	5,17	5,91	5,65	10,1	14,1	14,6	11,1	5,87	7,13	6,87	4,96	4,26	11,5

Таблица 5

Характеристика речного и подземного стока, тыс.м^3/сутки

Бассейн стока реки	Индекс бассейна стока (см. рис.1)	Речной сток			Поверхностная составляющая	Подземный сток		
		среднегодовой, среднемноголетний	минимальный зимний 30-суточный			среднегодовой, среднемноголетний	минимальный зимний 30-суточный	
			среднемноголетний	обеспеченности 95 %			среднемноголетний	обеспеченности 95 %
Сума	I	169	43,2	17,3	20	135	43,2	17,3
Систа	II	208	90,7	51,8	20	162	90,7	51,8
Ламошка	III	69,1	20,6	11,2	20	55,3	20,6	11,2
Воронка	IУ	102	25,9	10,4	15	86,7	25,9	10,4
Лопухинка-Рудица	У	65,7	20,7	6,9	10	59,1	20,7	6,9
Черная	УI	38,0	24,2	11,2	3	36,9	24,2	11,2
Шингарка	УII	122	77,8	43,2	3	118	77,8	43,2
Стрелка	УIII	130	69,1	38,9	5	124	69,1	38,9
Ижора	IX	459	243	112	5	436	243	112
Оредеж	X	162	43,2	1,3	5	154	43,2	1,3
Лемовжа	XI	160	43,2	16,4	15	136	43,2	16,4
Вруда	XII	337	87,3	26,8	15	286	87,3	26,8
Хревица	XIII	183	88,1	39,7	15	156	88,1	39,7
Солка	XIУ	237	94,2	57,0	20	190	94,2	57,0
Копорка	XУ	32,8	2,1	0,5	30	23,0	2,1	0,5
Дудергофка	XУI	64,1	33,7	19,0	3	61,2	33,7	19,0
Всего		2533	1007	464		2219	1007	464

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грахов А.Н. Влияние карстовых вод на питание рек в районе Ижорской возвышенности: Сборник работ. Вып. 3 / Ленинградское гидрометеорологическое о-во. Л., 1966. С. 31–37.

2. Грейсер Л.Е. О подземной составляющей в стоке рек Ижорского плато // Сборник работ по гидрологии. 1991. № 22 / Государственный гидрологический ин-т. С. 42–51.

3. Грейсер Е.Л., Завилейский С.В., Колесов Г.П., Попов О.В. Условия стока карстовых вод Ижорского плато и возможности их электромоделирования // Труды Государственного гидрологического ин-та. Вып. 286. Л., 1982. С. 28–58.