

возможно, потребуется проведение теоретических и экспериментальных исследований. Такую работу следует поручить коллективу, способному на конкурсной основе представить компетентному жюри достойную научно-исследовательскую программу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Бабаянц, П.С.* Особенности современной аэрогамма-спектрометрии / П.С. Бабаянц, В.М. Керцман // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 12. — С. 10–16.
2. *Вавилин, Л.Н.* Аэрогамма-спектрометрия в геологии / Л.Н. Вавилин, В.П. Воробьев, А.В. Ефимов и др. — Л.: Недра, 1982.
3. *Воробьев, В.П.* Аэрогамма-спектрометрический метод поисков рудных месторождений: метод. руководство / В.П. Воробьев, А.В. Ефимов, М.И. Альтшулер и др. — Л.: Недра, 1977.
4. *Коган, Р.М.* Основы гамма-спектрометрии природных сред. — 3-е изд. / Р.М. Коган, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. *Корчагин, В.И.* Аэрогеофизические методы поисков месторождений редких элементов / В.И. Корчагин и др. // Геология месторождений редких элементов. Вып. 20. — М.: Госгеолтехиздат, 1963.
6. *Кук, Б.* Успехи в калибровке аэрогамма-спектрометров для геохимических поисков / Б. Кук, Дж. Дувал, А.С. Дж. Адамс // Геохимические поиски. Серия Науки о Земле. Т. 55. — М.: Мир, 1973.

7. *Мелков, В.Г.* Поиски месторождений урана / Под ред. Е.М. Янишевского / В.Г. Мелков, Л.Ч. Пухальский. — М.: Госгеолтехиздат, 1957.
8. *Смирнов, Г.С.* Основные вопросы теории и методики аэрогадметрической съемки / Г.С. Смирнов // Матер. VII Всесоюзного межведомственного совещания по аэросъемке. Тр. лаборатории аэрометодов. АН СССР. Том VIII. — 1956. — М.: Госгеолтехиздат, 1959.
9. *Тер-Оганесов, Я.Г.* Методика и техника аэрогеофизических поисков месторождений урана за рубежом / Я.Г. Тер-Оганесов, Т.И. Гвайта, Ю.В. Рошин, В.И. Зубова // Вопросы геологии урана. — М.: Атомиздат, 1957.
10. *Техническая инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке.* — М., 1977.
11. *Филимонов, В.В.* Разработка аэрогамма-спектрометра АГС-СВ для выполнения съемок при высоте полета до 350 м. Отчет о научно-исследовательской работе / В.В. Филимонов, П.Н. Фогт. — СПб: ВИРГ-Рудгеофизика, 2000.
12. *Airborne gamma ray spectrometer surveying. Technical report series.* № 323. — International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1991.
13. *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.* — International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna. 2003.

© Лазарев Ф.Д., Маджара А.В., Старостин В.К., 2019

Лазарев Федор Дмитриевич // lazarevfd@yandex.ru  
Маджара Андрей Валерьевич // mrmadjara@yandex.ru  
Старостин Владимир Карпович // starostinvk@yandex.ru

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3.01+556.382

Новиков В.П., Копылов Д.В., Черепанова Е.Р. (ФБУ «ТФГИ по УрФО»), Жуковская Е.П. (Уралнедра)

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В НАРУШЕННЫХ ВОДООТБОРОМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УРАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Сложившаяся практика оценки обеспеченности подсчитанных эксплуатационных запасов подземных вод (ЭЗПВ) подавляющего большинства малых и средних (до нескольких тысяч м<sup>3</sup>/сут) месторождений (водозаборных участков) в пределах Уральской гидрогеологической складчатой области (УГСО) базируется на обоснованных тем или иным способом количественных показателях подземного стока и привлечения поверхностных вод транзитных рек (ручьев) в расчетные маловодные периоды. Такой подход не учитывает тесную связь в открытых гидрогеологических структурах подземного и поверхностного стока, что занижает ресурсный потенциал оцениваемых и разведываемых месторождений (участков) и часто действующих водозаборов в 1,5–2,5 и более раз. В статье выполнен анализ количественной оценки участия речного стока в формировании ЭЗПВ объектов водоснабжения УГСО при каптировании подземных вод на всех этапах геологического процесса и даны конкретные рекомендации по уточнению оценки обеспеченности подсчитанных (оцененных) ЭЗПВ, что существенно повысит эффективность этих работ. **Ключевые слова:**

Уральская гидрогеологическая складчатая область, эксплуатационные запасы подземных вод, сокращение речного стока, кора выветривания, коэффициент водоотдачи.

Novikov V.P., Kopylov D.V., Cherepanova E.R. (TFGI on UrFO), Zhukovskaya E.P. (Uralnedra)

### THE OPERATIONAL RESERVES OF UNDERGROUND WATER IN IMPAIRED WATER HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE URAL OROGEN

The current practice of assessing the provision of estimated operational groundwater reserves (EOGR) of the vast majority of small and medium (up to several thousand m<sup>3</sup>/day) deposits (water intake areas) within the Ural Hydrogeological Folded Region (UHFR) is based on quantitative indicators of underground runoff and attracting surface waters of transit rivers (streams) in the designed low-flow periods. This approach does not take into account the close relationship between the underground and surface runoff in the open hydrogeological structures, which underestimates the resource potential of the estimating and exploring deposits (sites) and often functioning water intakes by 1,5–2,5 or more times. The article analyzes the quantitative assessment of the river runoff's participation in the creation of EOGR of water supply facilities at all stages of the geological process of capturing groundwater and specific recommendations are given to refine the assessment of the provision of estimated EOGR, which will significantly increase the effectiveness of these works. **Keywords:** Ural hydrogeological folded region, operational reserves of groundwater, reduction of river runoff, weathering crust, coefficient of water yield.

Первые гидрогеологические прогнозы на Урале основывались на материалах целенаправленных с 1942 г. наблюдений за водоприитоками подземных вод в горные выработки. Согласно этим наблюдениям, обобщенным Н.Д. Будановым, прогнозная средне-многoletняя величина водоприитокoв в систему горных выработок оценивалась как произведение модуля речного (общего зонального) стока на площадь захвата подземных вод, которая проводилась по границам частных водосборных бассейнов [1]. Предельная величина средне-многoletних водоприитокoв обосновывалась достижением горными выработками глубины подошвы коры выветривания [7]. Для малых объектов (до 1 тыс. м<sup>3</sup>/сут) в качестве ЭЗПВ принимался достигнутый при откачках дебит скважин.

Методика прогноза водоприитокoв в горные выработки предполагала полный перехват в границах площади захвата подземного и поверхностного (речного или общего зонального) стока. При фиксированной глубине горных выработок сезонная и межгoдовая неравномерность стоковых характеристик проявлялась в высокой изменчивости водоприитокoв. Применительно к ЭЗПВ, как гарантированного средне-месячного водоотбора в расчетный маловодный гoд, установленная для прогнозных водоприитокoв в горные выработки средне-многoletняя величина водоотлива являлась неприемлемой. Поэтому в качестве гарантированного ресурсного потенциала подземных вод, обеспечивающего дебит скважин, принимались (и принимаются до нашего времени) минимальные показатели стока: в Свердловской области норма средней между минимальными зимними и летними показателями стока в гoд — 95 % обеспеченности; в Челябинской и Пермской областях — минимальный (мартовский) сток гoда 95 % обеспеченности.

Проявление сезонной и межгoдовой неравномерности стоковых характеристик при относительно равномерном водоотборе на эксплуатируемых месторождениях (участках) выявилось по данным наблюдений, осуществляемых под руководством Ю.Н. Владимирова, за сокращением речного стока (разница между восстановленным по рекам-аналогам расходов рек и их фактическим расходом на выходном с месторождения створе) в изменении величины этого сокращения [3]. Например, среднегoдовая величина сокращения речного стока на Шиловском водозаборе (таблица) изменялась от 24 до 181 л/с (в 7,5 раз), а отношение среднегoдового сокращения

речного стока к среднегoдовому водоотбору — от 0,3 до 1,82 или в 6,4 раза. Средне-месячная величина сокращения речного стока отличается гораздо большей контрастностью, поскольку в зимний период маловодных лет речной сток вообще отсутствует [2, 4]. В первый весенний месяц сокращение стока в 1,5–2 раза ниже, чем в последующие месяцы из-за промерзания покровных образований в русле и на водоразделах. Поэтому кратковременный весенний сток с частного водосбора при эксплуатации подземных вод имеется всегда, даже в самые маловодные гoды.

Максимальное средне-месячное сокращение речного стока наблюдается в паводковые периоды. После серии маловодных лет оно достигало в р. Шиловка 1600 л/с при ее водосборной площади 43,6 км<sup>2</sup>, что может указывать на очень большую пропускную способность русловых отложений. По нашему мнению, величина привлекаемых ресурсов поверхностного стока при эксплуатации подземных вод помимо пропускной способности русловых отложений зависит также от регулирующей возможности рыхлых, преимущественно элювиально-делювиальных образований в пределах депрессионной воронки и величины стока.

По данным лабораторных определений величина активной пористости, как разница между общей пористостью и объемным выражением влажности на границе максимальной молекулярной влагоемкости для образований коры выветривания колеблется: в зоне химического выветривания (глинистый состав) от 0,16 до 0,37 (среднее 0,27 долей единицы); в зоне физического выветривания (дресвяный состав) от 0,20 до 0,41 (среднее 0,32 долей единицы). Коэффициент водопоглощения — аналог коэффициента водоотдачи сильно выветрелых пород коренного субстрата до глубины

**Таблица 1**  
Среднегoдовые данные режимных наблюдений при эксплуатации Шиловского водозаборного участка Березовского месторождения подземных вод

Гoд	Расчетный расход р. Шиловка (F=43,6км <sup>2</sup> ) по реке — аналогу	Дебит водозабора, Qв, л/с	Сокращение речного стока, Qс, л/с	Qс/Qв	Средневзвешенная глубина динамического уровня, м	Сработка (-), восполнение (+) уровня, м
1971	211	66	—	—	2,0	—
1972	161	68	50	0,74	3,0	-1,0
1973	129	70	52	0,74	4,0	-1,0
1974	79	68	29	0,43	5,2	-1,2
1975	34	79	24	0,3	6,6	-1,4
1976	38	84	27	0,32	7,5	-0,9
1977	45	84	41	0,49	8,0	-0,5
1978	116	91	106	1,16	6,2	+1,8
1979	299	97	177	1,82	5,7	-0,5
1980	181	100	140	1,40	6,0	-0,3
1981	150	102	118	1,16	6,7	-0,7
1982	109	100	104	1,04	6,7	0
1983	240	109	181	1,66	5,0	+1,7
1984	285	106	91	0,86	3,5	+1,5
1985	224	106	143	1,35	5,6	-2,1
среднее	153	89	92	0,96	5,4	±  1,04

развития линейной коры выветривания 20–30 м изменяется от 0,12 до 0,16 при среднем значении 0,14. Столь высокие показатели активной пористости и водопоглощения объясняются их происхождением за счет выноса вещества. Значение величины коэффициента водоотдачи по физическому смыслу аналогично активной пористости водонасыщенных рыхлых образований. Значение коэффициента водоотдачи, вычисленное на действующих водозаборах по соотношениям величины среднемноголетнего объема осушенной коры выветривания к средневзвешенной амплитуде колебания уровня подземных вод, оказалось равным 0,18 на Шиловском и 0,21 на Мало-Рефтинском водозаборных участках. Отличие от лабораторных определений связано с наличием останцов коренных пород.

Исходя из описанного режима эксплуатации действующих водозаборов, в качестве ЭЗПВ Шиловского участка при нескольких вариантах их обоснования в сложившейся схеме водоотбора, был рекомендован фактический водоотбор в наиболее маловодный год (95 % обеспеченности, 1976 г.), равный 84 л/с, что соответствовало величине 0,7 от среднемноголетнего сокращения р. Шиловка на замыкающем с участка створе [4]. При этом фактическое среднегодовое сокращение стока р. Шиловка в этот маловодный год составило 27 л/с.

Большая сезонная и межгодовая изменчивость сокращения речного стока при эксплуатации подземных вод приводит, с одной стороны, к излишней привязке проведения геологоразведочных на подземные воды работ на малых и средних объектах к конкретному сезону, с другой стороны, условие положения средневзвешенного по площади депрессионной воронки глубины динамического уровня подземных вод выше подошвы коры выветривания, допускает использование для прогнозных расчетов отношение среднемноголетних показателей сокращения речного стока ( ${}_{\Delta}Q$ ) к общей величине ( $Q_0$ ) от отношения площади депрессионной воронки ( $f$ ) к общей водосборной площади транзитной реки ( $F$ ) на замыкающем с площади месторождения (участка) створе. Такая зависимость удовлетворительно описывается уравнением параболы второго рода с существенно различными и безразмерными коэффициентами  $a$  и  $b$  для закарстованных и некарстующихся пород [3]. Но для оценки обеспеченности ЭЗПВ параболическая зависимость сокращения речного стока на закарстованных площадях совершенно непригодна, поскольку она построена по данным наблюдений на девяти водопостах в верховьях р. Сосьва [3], где с конца 1930-х годов активно эксплуатируются бокситовые месторождения, известные в литературе под аббревиатурой «СУБР». Здесь под влиянием шахтного водоотлива и работы законтурных дренажных скважин глубина уровня подземных вод в пределах депрессионных воронок повсеместно находится глубже подошвы рыхлых образований (100 и более метров). Вследствие этого происходит массовый суффозионный вынос карстового заполнителя с образованием открытых карстовых воронок и сменой питания подземных вод с инфильтрационного на инфлюационный режим. Процесс нарастания количества открытых депрес-

сионных воронок описан в многочисленных отчетах по результатам режимных наблюдений на площади СУБРа (И.Н. Плотников и др.), хранящихся в территориальном (г. Екатеринбург) и всероссийском (г. Москва) фондах геологической информации.

Повсеместное расположение карбонатных пород ниже по рельефу местности относительно некарстующихся пород при инфлюационном питании приводит к более благоприятным условиям сокращения речного стока по сравнению с инфильтрационным питанием и другим значениям коэффициентов параболической зависимости  ${}_{\Delta}Q/Q$  от  $f/F$ . Поскольку регулятором питания подземных вод является кора выветривания, в условиях отсутствия в долинах постоянных водотоков открытых карстовых воронок деление водосборных площадей на закарстованные и некарстующиеся не имеет принципиального значения за исключением в некоторых случаях обоснования площади депрессионной воронки. Для некарстующихся пород решение задачи по определению площади депрессионной воронки ( $f$ ) в среднемноголетнем разрезе, как отношение дебита водозабора к модулю нормы речного стока ( $M_0$ ), требует величину  ${}_{\Delta}Q$  (по существу искомое значение запасов подземных вод) разделить на составляющие ЭЗПВ, формирующиеся на площади депрессионной воронки ( ${}_{\Delta}Q_{\text{дв}}$ ) и за счет потерь транзитного поверхностного стока ( ${}_{\Delta}Q_{\text{т}}$ ).

Такое разделение выполнено нами путем преобразования зависимости  ${}_{\Delta}Q/Q$  от  $f/F$  для «некарстующихся» пород с введением ограничений: для случая  $f/F = 1$  (отсутствие транзитного стока) и  ${}_{\Delta}Q_{\text{т}} = {}_{\Delta}Q_{\text{дв}}$  (инверсия транзитного поверхностного стока не должна превышать величины общего стока, формирующегося в пределах депрессионной воронки). При таких условиях было получено уравнение:

$${}_{\Delta}Q_{\text{т}} / {}_{\Delta}Q_{\text{дв}} = 1 - f / F \quad (1),$$

а общее уравнение параболы для вычисления  ${}_{\Delta}Q = {}_{\Delta}Q_{\text{дв}} + {}_{\Delta}Q_{\text{т}}$  получило в безразмерном виде входящих в него показателей вид:

$$\alpha = {}_{\Delta}Q / {}_{\Delta}Q_0 = 2 \times f / F_0 - (f / F)^2 \quad (2).$$

Это уравнение не отличается от аналогичной зависимости Ю.И. Владимирова [3], в которой отношение площадей выражено в процентах ( $\alpha_{\text{н}} = 0,0197 f / F - 0,0001(f / F)^2$ ) [4]. Использование обоих уравнений (1) и (2) позволяет увязывать между собой значения входящих в них среднемноголетних показателей, что повышает степень обоснованности рассчитанной обеспеченности ( ${}_{\Delta}Q$ ) подсчитанных гидравлическим методом ЭЗПВ.

Выполненные нами контрольные расчеты по алгоритму сокращения речного стока при эксплуатации подземных вод с отмеченными ограничениями его применения, показали повсеместное занижение обеспеченности ЭЗПВ по сравнению с ее расчетами на основе минимальных показателей стока в 1,5–2,5 раза. При этом расчеты сокращения речного стока раскрывают возможность увеличения запасов подземных вод

за счет сокращения транзитного стока путем расширения водозабора, то есть бурения дополнительных водозаборных скважин. Решаются и другие задачи. Например, расчет площади депрессионной воронки на Шиловском водозаборном участке величиной 15,2 км<sup>2</sup> по данным режимных наблюдений позволяет вычислить коэффициент водоотдачи равный

$$\frac{89 \cdot 86,4 \cdot 365}{1,04 \cdot 15,2 \cdot 10^6} = 0,18 \text{ долей единицы.}$$

Таким образом, изучение вопроса формирования ЭЗПВ в Уральской открытой гидрогеологической структуре не может быть полным без представления о строении и мощности коры выветривания, выполняющей решающую роль в регулировании питания подземных вод при их эксплуатации. На рассматриваемой территории сохранились два типа коры выветривания: линейный, имеющий в нижней части разреза каолиновый состав, и площадной преимущественно гидрослюдистого состава. Условная граница между ними проведена по изолинии мощностью 10 м, совпадающей с максимальной глубиной гидрослюдистого преобразования коры в дисперсной зоне.

Анализ многочисленных определений не выявил линейных меридиональных и широтных закономерностей минерального состава как мезозойской (каолинового состава), так и кайнозойской (гидрослюдистой) кор выветривания. Более того, в пределах одной климатической зоны размером 700–900 км на самых разнообразных по исходному составу горных породах развиваются одинаковые профили выветривания — «память» коры выветривания хранит в основном информацию об истории ее формирования [6]. Состав грунтов из различных геохимических зон коры оказывается одинаковым. Это обстоятельство обосновывает возможность широкого применения на Урале способа сокращения речного стока при оценке обеспеченности подсчитанных ЭЗПВ как в самостоятельном виде,

так и в сочетании с другими способами. Его эффективность возрастает с запада на восток и с севера на юг, то есть по мере активизации корообразования и ее сохранности по мере выполаживания рельефа.

Норма речного стока может быть оценена по литературным данным [9], уточненная на размер площади реки по критериям СП 33–101–2003 [8].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буданов, Н.Д. Гидрогеология Урала / Н.Д. Буданов. — М.: Наука, 1964. — 304 с.
2. Владимиров, Ю.И. Изменение стока малых рек при отборе подземных вод в горноскладчатой части Урала / Ю.И. Владимиров // Сб. работ по гидрологии. — № 18. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 17–44.
3. Владимиров, Ю.И. Оценка и прогноз изменения речного стока под влиянием эксплуатации подземных вод в малых бассейнах горно-складчатой части Среднего Урала / Ю.И. Владимиров // Докл. секции русловых процессов и водного баланса Науч. Сов. по проблеме «Комплексное использование и охрана водных ресурсов» ГКНТ. — Вып. 2. Современное состояние малых рек СССР и пути их использования, сохранения и восстановления. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 53–60.
4. Владимиров, Ю.И. К вопросу оценки эксплуатационных запасов подземных вод / Ю.И. Владимиров, С.Н. Елохина // Изв. УГГА. Серия. Геология и геофизика. — 2003. — Вып. 18. — С. 211–215.
5. Владимиров, Ю.И. Внутригодовое изменение стока малых речных бассейнов под влиянием отбора подземных вод в некарстующихся породах горноскладчатой части Среднего Урала / Ю.И. Владимиров // Проблемы загрязнения подземных вод и пути их решения. — Красноярск: СибНИИГиМ, 1981. — С. 73–83.
6. Костерова, Т.К. Инженерно-геологическое расчленение и оценка свойств элювиальных грунтов Южного и Среднего Урала: Автореф. дис. к.г.-м.н. / Т.К. Костерова. — М.: ПНИИС, 1986. — 18 с.
7. Новиков, В.П. Уточненная гидрогеологическая модель объектов Уральской складчатой области / В.П. Новиков, Д.В. Копылов // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 3. — С. 36–41.
8. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33–101–2003. — М.: Госстрой России, 2004.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 848 с.

© Коллектив авторов, 2019

Новиков Виталий Прокофьевич / zhukyelena@mail.ru  
Копылов Дмитрий Вадимович // ddddmiitry@yandex.ru  
Черепанова Елена Романовна // cherepanova@tfi-urfo.ru  
Жуковская Елена Петровна // zhukyelena@mail.ru

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549:622/533.31

Кыдзы М.В., Астахова Ю.М., Броницкая Е.С.,  
Ануфриева С.И., Гришаев Г.С. (ФГБУ «ВИМС»)

### ВЫБОР МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД СЕРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Показано влияние минерального состава и текстурно-структурных особенностей железных руд Серовского месторождения на технологические свойства и поведение руды в операциях обогащения. Выявленная зависимость использована при разработке комплексной схемы переработки железной руды. При прямой металлургиче-*

*ской переработке исходной руды получены ликвидные товарные продукты. **Ключевые слова:** технологическая проба, железные руды, минералогия, обогащение, металлургия, чугуны, феррохром, сталь.*

Kydzhy M.V., Astahova Yu.M., Bronitskaya E.S., Anufrieva S.I.,  
Grishaev G.S. (VIMS)

### SELECTION OF THE METHOD OF COMPLEX PROCESSING OF THE IRON ORE OF SEROV DEPOSIT

*The influence of the mineral composition and textural-structural features of iron ores from the Serov deposit on the technological properties and behavior of the ore in the beneficiation operations is shown. The revealed dependence was put*