

С.С.Бондаренко,
Л.А.Лубенский,
Г.В.Куликов

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Рецензент д-р геол.-минер, наук *И. С. Зекцер*

Издательство «Недра», 1988

ВВЕДЕНИЕ

За послевоенные годы из земных недр многие полезные ископаемые получены в количествах, превышающих их добычу за всю предшествующую историю человечества. Запасы некоторых редких элементов существенно сократились, а потребность в них резко увеличилась за счет расширения использования в новых отраслях техники и технологии. Актуальной стала проблема поисков и вовлечения в промышленную разработку новых видов минерального сырья, одним из которых могут стать подземные промышленные воды глубоких горизонтов крупных артезианских бассейнов платформ, предгорных и межгорных впадин.

К промышленным подземным водам, или гидроминеральному сырью, относят подземные воды и рассолы, количество и качество которых позволяют в конкретных гидрогеологических условиях вести рентабельную добычу этих вод и извлечение из них полезной продукции существующими техническими средствами с применением современных технологических процессов. Интерес к использованию промышленных вод связан не только с истощением запасов традиционных рудных месторождений, редких металлов, но также с рядом преимуществ, присущих этому виду полезных ископаемых.

Промышленные подземные воды характеризуются обычно широким региональным распространением и большими геологическими и эксплуатационными запасами. Добыча этих вод не требует проведения капиталоемких горных работ и переработки большой массы горных пород, а осуществляется скважинными водозаборами, позволяющими получить гидроминеральное сырье с больших глубин. Промышленные воды являются комплексным сырьем, обеспечивающим при разработке малоотходной технологии получение помимо редких элементов также солей натрия, калия, магния и кальция; в ряде случаев эти воды характеризуются бальнеологическими свойствами и высоким теплоэнергетическим потенциалом. На поверхности гидроминеральное сырье может обогащаться путем концентрирования за счет испарения, в том числе солнечного.

Экономическая целесообразность использования подземных промышленных вод подтверждена многолетней практикой получения из подземных и озерных водных растворов щелочных редких металлов, брома, йода, бора, соединений магния, натрия, калия и кальция в развитых капиталистических странах, а также йода и брома в нашей стране. Возможность широкого использования промышленных вод в качестве гидроминерального сырья обоснована к настоящему времени результатами изучения закономерностей их распространения, региональной оценки эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов, геологоразведочных работ на промышленные йодобромные воды, а также анализом опыта эксплуатации месторождений глубоких подземных вод.

Месторождения подземных промышленных вод характеризуются рядом специфических особенностей, определяющих, в свою очередь, методы их изучения и оценки, которые осуществляются на широкой региональной гидрогеологической основе. Эти воды залегают на значительных глубинах (1000 — 5000 м) и характеризуются, как правило, высокими минерализацией, температурой и газонасыщенностью. Распространение подземных вод с высокими концентрациями полезных компонентов само по себе еще не определяет наличия месторождений промышленных вод

и их эксплуатационных запасов. Перспективы практического использования этих вод определяются экономикой их добычи и получения полезной продукции. В связи с этим геолого-экономическое обоснование возможности и целесообразности освоения гидроминеральных сырьевых ресурсов является ведущим при оценке запасов месторождений и перспектив их практического освоения на всех стадиях геологоразведочных работ.

Имеется ряд особенностей, отличающих геолого-экономическую оценку месторождений подземных промышленных вод от аналогичной оценки рудных месторождений. Эксплуатационные запасы измеряются не единицами массы, а дебитом водозаборов, гарантированным на определенный срок (обычно 10 000 сут); одновременно с запасами промышленной воды фиксируются производственная мощность (по воде) перерабатывающего предприятия и расчетный срок его работы. К запасам подземных вод в отличие от запасов твердых полезных ископаемых неприменимы такие понятия, как оконтуривание, блок, прирезка и т. д. В основе подсчета запасов подземных вод лежат не геометрические построения, а прогноз изменения во времени гидродинамических и гидрохимических условий эксплуатации месторождений. Это определяет содержание кондиционных требований к месторождениям и условиям их разработки, а также суть геолого-экономической оценки месторождений подземных промышленных вод.

Геолого-экономическая оценка требует сопоставления и выбора оптимальных показателей разработки месторождения промышленных подземных вод. К числу таких показателей следует относить: 1) минимальные промышленные концентрации полезных компонентов; 2) максимальную глубину залегания промышленной водоносной зоны; 3) минимальный дебит одной эксплуатационной скважины; 4) максимальное понижение динамических уровней в скважинах в период эксплуатации водозабора; 5) суммарный дебит водозабора; 6) площадь (ее размеры) расположения эксплуатационных скважин; 7) условия сброса отработанных предприятием вод; 8) качество и температуру гидроминерального сырья; 9) наличие вредных компонентов и примесей; 10) наличие компонентов, которые целесообразно извлекать попутно с основным производством.

Все перечисленные компоненты являются важными. Часто один из факторов (или совокупность нескольких) является решающим в экономике производства. Например, наличие вредных примесей в промышленной воде может настолько усложнить технологию ее переработки, что производство основной продукции окажется нерентабельным. Попутное извлечение побочных продуктов может обеспечить рентабельную работу предприятия тогда, когда получение только основного продукта оказывается экономически нецелесообразно. Отсутствие возможности эффективного удаления сточных вод промышленного предприятия препятствует организации рентабельного производства продукции при соблюдении всех остальных требований. При сопоставлении технико-экономических показателей разработки месторождений принимаются во внимание также: капиталовложения в сырьевую базу и основное производство; стоимость добычи кубического метра воды; общая годовая добыча продукции; себестоимость продукции; удельные капиталовложения на 1 т продукции; сроки окупаемости капиталовложений в сырьевую базу и основное производство и обусловленная этими сроками рентабельность предприятия.

В книге излагаются принципы и методы обоснования кондиционных требований к месторождениям и общей геолого-экономической оценки последних. Эти принципы и методы апробированы при производстве геологоразведочных работ на промышленные йодо-бромные воды и при региональной оценке эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов промышленных редкометалльных вод. Учитывая специфику месторождений промышленных вод и задачи их изучения и оценки, определенное внимание в работе уделено вопросам методики поисково-разведочных работ и подсчета эксплуатационных запасов подземных промышленных вод. При этом авторы рассматривают такие воды как комплексное полезное ископаемое, освоение которого может существенно увеличить в ближайшем будущем минерально-сырьевой потенциал страны.

Глава 1.

Подземные промышленные воды и их месторождения

Подземные промышленные воды, их признаки

Представления о подземных промышленных водах с момента их вовлечения в среду хозяйственного использования претерпели существенную эволюцию. В общем смысле под промышленными водами принято понимать подземные воды, содержащие в повышенных количествах полезные компоненты

или их соединения, которые можно извлекать и эффективно использовать в народном хозяйстве. Длительное время (вплоть до 50-х годов) однозначные критерии для отнесения подземных вод к промышленным не разрабатывались и не обосновывались. Одной из основных причин такого положения было то, что первоначально при классификации или типизации подземных промышленных вод, как и других типов вод, учитывались данные, характеризующие только их состав и концентрации полезных компонентов, в основном йода и брома. Такие важные факторы, как глубины залегания и гидрогеологические параметры заключающих промышленные воды водоносных комплексов, природные и экономические условия районов распространения промышленных вод, количество эксплуатационных запасов последних, и другие вообще не учитывались.

Одна из первых классификаций промышленных вод была предложена в 1955 г. Н. А. Плотниковым. Классификация учитывала кларковые содержания некоторых рассеянных элементов в земной коре, их концентрации в водах суши и морской воде, а также установленные к тому времени предельные концентрации специфических компонентов в водах лечебного назначения (табл. 1). Эта классификация использовалась для систематизации природных вод по их составу и районирования территории СССР с выделением регионов распространения промышленных подземных вод различных типов.

**Таблица 1 Классификация бромных, йодных, борных и других вод.
По Н. А. Плотникову**

Наименование вод	Минимальные концентрации элементов	
	мг/л	%
<i>Специфические по микрокомпонентному составу</i>		
	Бромные	$Br > 25$
Йодные	$I > 1$	$1 \cdot 10^{-4}$
Йодобромные	$1(1), 25(Br)$	$1 \cdot 10^{-4}(1), 2,5 \cdot 10^{-3}(Br)$
Борные	$B > 10$	$1 \cdot 10^{-3}$
Йодоборные	$1(1), 10(B)$	$1 \cdot 10^{-4}(1), 1 \cdot 10^{-3}(B)$
Радиевые	$Ra > 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-12}$
<i>Промышленные</i>		
Бромные	$Br > 250$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Йодные	$I > 18$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Йодобромные	$10(1), 200(Br)$	$1 \cdot 10^{-3}(1), 2 \cdot 10^{-2}(Br)$
Борные	$B > 250$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Йодоборные	$10(1), 75(B)$	$1 \cdot 10^{-3}(1), 7,5 \cdot 10^{-3}(B)$
Радиевые	$Ra > 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-9}$

С целью стимулирования поисков и выявления новых перспективных площадей и месторождений подземных промышленных вод бывшим Госхимкомитетом СССР в 1960 г. были установлены минимальные концентрации по йоду, брому и бору, регламентирующие отнесение тех или иных подземных вод к разряду промышленных (табл. 2). Введение таких условных требований сыграло определенную положительную роль в получении новой информации о содержании в подземных водах йода, брома, бора, а также некоторых других компонентов. Вместе с тем это мероприятие послужило причиной ряда необоснованных решений о внесении в баланс месторождений йодобромных вод некоторых объектов как реальных для организации сырьевых баз промышленных предприятия без учета количества эксплуатационных запасов промышленных вод и условий их обработки.

**Таблица 2
Требования к промышленным водам, содержащим бром, йод и бор**

Целевое назначение вод	Йода, мг/л, не менее	Брома, мг/л, не менее	Бора, мг/л, не менее	Щелочность, ммоль/л, не более	Нафтеновых кислот, мг/л, не более	Галоидопоглощаемость, мг/л, не более	Нефти, мг/л, не более
Извлечение:							

только йода	18			30 ³ 90 ⁴	600	80	40
только брома		250		10	600	80	40
йода и брома	10	200	—	10	600	80	40
йода и бора	10	150	500 и 200 ²		600	80	40

¹ В виде B_2O_3 для получения буры.

² В виде B_2O_3 для микроудобрений. ³ Для вод с температурой до 35° С.

⁴ Для вод с температурой более 35° С при наличии бикарбонатно-кальциевых вод, позволяющих за счет выделения карбоната кальция снизить щелочность.

Существуют и другие упрощенные классификации промышленных подземных вод. Примером одной из таких классификаций может служить схема подразделения промышленных вод, составленная И. К. Зайцевым. При наименовании подземных вод он относит к главным те компоненты, содержание которых превышает кондиционный предел. Путем сочетания компонентов, содержащихся в количестве не ниже кондиционного предела, выделяются промышленные воды одно-, двух-, трехкомпонентные и более. Ниже для иллюстрации предложенного И. К. Зайцевым принципа наименования промышленных вод приведена схема подразделения вод на группы и подгруппы:

I. Галитовые: 1) бром-галитовые; 2) бор-литий-галитовые; 3) бор-бром-галитовые и др.

II. Бромные: 1) йодобромные; 2) бор-калий-бромные; 3) бор-литий-бромные и др.

III. Йодные: 1) бром-йодные; 2) бор-бром-йодные и др.

IV. Борные: 1) бром-борные; 2) калий-бром-борные и др.

V. Калиевые: 1) галит-калиевые; 2) бром-калиевые и др.

VI. Содовые (мирабилитовые, глауберитовые и др.): подгруппы не выделены.

Практическое использование этой классификации затрудняется не столько принципом наименования подземных вод, сколько отсутствием разработанных и обоснованных требований к кондиционным содержаниям всех полезных компонентов для различных гидрогеологических условий. Такие кондиционные содержания будут различными для разных гидрогеологических условий, определяющих, в свою очередь, экономические показатели добычи и использования подземных промышленных вод. Это подтверждается изложенными в табл. 3 результатами обоснования основных требований к месторождениям подземных промышленных йодобромных вод, установленных путем изучения закономерностей распространения и условий залегания этих вод, гидродинамического и технико-экономического анализа условий их эксплуатации в различных районах страны. Эти данные показывают, что минимальные промышленные концентрации йода и брома могут значительно отличаться для отдельных частей одного и того же гидрогеологического района; для разных районов эти концентрации колеблются в значительных пределах.

Кондиции на подземные промышленные редкометалльные воды в настоящее время разрабатываются. Судя по опыту изучения и эксплуатации промышленных йодобромных вод, кондиции на поликомпонентное гидроминеральное сырье будут установлены с учетом гидрогеологических условий его распространения и технико-экономических факторов добычи и переработки. На основе анализа общих закономерностей распространения подземных редкометалльных вод в СССР и зарубежного опыта их использования установлены следующие нижние пределы концентраций элементов, при которых такие воды могут представлять практический интерес (мг/л): литий — 10, рубидий — 3, цезий — 0,5, стронций — 300, германий — 0,05. Воды с такими концентрациями встречаются в пределах крупных территорий, образуя гидрогеохимические провинции. Часто повышенные концентрации этих элементов свойственны йодобромным водам, что создает предпосылки для комплексного использования подземных промышленных вод.

Анализ особенностей распространения и условий залегания подземных вод, обогащенных рассеянными элементами и редкими металлами, наряду с практическим опытом поисково-разведочных работ в различных районах СССР, позволил дать следующее определение понятию «подземные промышленные воды».

К промышленным следует относить подземные воды и рассолы, содержащие полезные компоненты или их соединения в количествах, обеспечивающих в пределах конкретных гидрогеологических районов (или их отдельных частей) рентабельную добычу и переработку этих вод с целью получения полезной продукции существующими техническими средствами и с использованием современных технологических процессов

Таблица 3
Ориентировочные кондиционные требования к месторождениям подземных йодобромных вод

Бассейн промышленных йодобромных вод	Минимальные концентрации, мг/л		Минимальный дебит одной скважины, м³/сут	Предельное понижение динамического уровня, м	Суммарный дебит одного во-дозабора, тыс. м³/сут
	йода	брома			
Волго-Камский	10 — 16	300 — 1100	470 — 1000	490 — 620	10 — 22
»	—	490	980	700	20
Тимано-Печорский	14	760	500	630	12
Московский	—	510	500	680	35
»	10	500	350 — 1000	640 — 750	25 — 50
Прибалтийский	—	440 — 570	1000	670 — 690	50 — 90
Припятский	32 — 35	1300 — 1450	200 — 250	850	5
Севере- Крымский	29	—	1000	750	28
Ангаро-Ленский	—	4700	60	600	2
Западно-Сибирский	16	—	1000	750	30
Амударьинский	21	480	1000	750	37
Азово-Кубанский	22	350	1000	625	18

Данное определение имеет и гидрогеологический, и экономический смысл. Распространение подземных вод с высокими концентрациями полезных компонентов само по себе еще не определяет наличия месторождения подземных промышленных вод. Зона распространения промышленных вод должна отвечать совокупности гидрогеологических и геолого-экономических условий, обеспечивающих при определенной концентрации полезных компонентов их рентабельное извлечение из подземных вод в пределах хотя бы одного участка внутри этой зоны. При отсутствии подобного участка (или участков) в данном гидрогеологическом районе теряет смысл утверждение о наличии или распространении на его территории промышленных вод, хотя в других районах и иных гидрогеологических условиях подземные воды с аналогичными концентрациями полезных компонентов могут квалифицироваться как промышленные.

Таким образом, минимальные промышленные концентрации полезных компонентов в подземных водах устанавливаются для каждого гидрогеологического района особо. С учетом различия в гидрогеологических условиях разных районов устанавливаются различные по абсолютной величине предельные минимальные концентрации одноименных полезных компонентов при классификации промышленных вод и выделении их месторождений. Из существа сделанного определения также следует, что требования к минимальным промышленным концентрациям в подземных водах не являются постоянными и обусловлены во многом уровнем развития техники и технологии.

В последние годы наряду с понятием «промышленные воды» широко используется термин «гидроминеральное сырье». Гидроминеральное сырье в широком смысле объединяет различные типы природных вод: подземные воды глубоких водоносных горизонтов, попутные воды месторождений нефти и твердых полезных ископаемых, погребенные (межкристалльные) рассолы четвертичных и современных эвапоритовых бассейнов, рапу некоторых континентальных озер и отшнурованных морских заливов, морскую воду. В СССР основные перспективы использования гидроминерального сырья связаны с подземными водами глубоких водоносных горизонтов.

Промышленные воды могут быть гидроминеральным сырьем на один, два элемента или их комплекс. Отнесение промышленных вод к тому или иному виду гидроминерального сырья требует обоснования, которое сводится к оценке месторождений промышленных вод на геолого-экономической основе. Во многом перспектива использования гидроминерального сырья определяется конъюнктурой на мировом и внутрисоюзном рынке по отношению к добываемой с использованием этого сырья продукции, а также потребностью различных отраслей народного хозяйства в редких элементах и минеральных солях.

Подземные промышленные воды характеризуются большим разнообразием общей минерализации, химического состава, содержания отдельных компонентов и количественного их соотношения, а также газового состава и температуры. Преимущественно они относятся к группе минерализованных вод и рассолов. Йодные и бромные воды чаще относятся к группе соленых вод и рассолов с минерализацией до 150 г/л, бромные, литиеносные — к рассолам с минерализацией более 150 г/л; йодобромные — к рассолам с минерализацией 150 — 250 г/л. Содержание редких щелочных

металлов обычно возрастает с увеличением минерализации подземных вод, однако эта зависимость неоднозначна и весьма сложна для подземных вод различного химического состава. Концентрации практически всех редких элементов значительно увеличиваются в интервалах минерализации 270 — 350 г/л, что связано с выпадением из водных растворов галита.

Из всего многообразия подземных минерализованных вод Л. С. Балашовым выделены только три их генетических вида, представляющих практический интерес по концентрациям полезных компонентов: 1) пластовые хлоридные воды и рассолы артезианских бассейнов; 2) углекислые воды альпийской зоны горноскладчатых областей; 3) термальные хлоридные воды современных вулканических областей.

Хлоридные воды и рассолы имеют наиболее широкое распространение; они обычно развиты в доступных для практического освоения регионах и отличаются высокими концентрациями микро- и макрокомпонентов. В толще осадочных пород крупных артезианских бассейнов на глубинах от сотен метров до 8 км господствуют рассолы хлоридного типа, на долю которых приходится до 90% объема всех глубоких подземных вод. Эти рассолы являются основными аккумуляторами редких элементов — йода, брома, бора, лития, цезия, рубидия, стронция, германия и других и в связи с этим представляют наибольший интерес для практического использования.

В горно-складчатых областях повышенные концентрации редких элементов свойственны обычно углекислым подземным водам, а также связаны с регионами, характеризующимися значительной интенсивностью неотектонических движений. По химическому составу углекислые воды преимущественно гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые, реже хлоридно-натриевые с минерализацией от 5 до 40 г/л. Типоморфными элементами редкометалльных вод горноскладчатых областей являются литий, рубидий, цезий, бор, германий.

Промышленные подземные воды залегают на больших глубинах. Физические свойства этих вод вследствие влияния минерализации, температуры и газонасыщенности значительно отличаются от свойств пресных подземных вод в нормальных условиях. Это обстоятельство, как показывают теоретические расчеты и практический опыт, должно учитываться при региональных гидрогеологических построениях, оценке расчетных гидрогеологических параметров водовмещающих пород, подсчета эксплуатационных запасов глубоких подземных вод. Свойства и состав воды влияют на технологические приемы и методы ее переработки, что, в свою очередь, определяет кондиционные требования к этому виду гидроминерального сырья и экономическую эффективность его промышленного использования.

Таким образом, промышленные подземные воды являются широко распространенной разновидностью природных вод литосферы.

Они тесно взаимосвязаны с подземными слабоминерализованными и пресными водами неглубокого залегания. Комплекс научно-методических и аналитических исследований этих вод должен удовлетворять требованиям достижения конечной цели — оценке возможности и целесообразности использования подземных вод в качестве минерального сырья. Такая оценка требует применения наряду с гидрогеологическими также методов геолого-экономического анализа условий добычи и переработки промышленных подземных вод.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД В СССР

Подземные минерализованные воды и рассолы промышленного значения широко развиты на территории СССР и приурочены, как правило, к глубоким частям крупных артезианских бассейнов, которые в структурно-тектоническом отношении соответствуют впадинам, выделяемым в рельефе складчатого основания древних докембрийских и эпигерцинских платформ, крупным предгорным и межгорным впадинам. Масштабы распространения, химический состав промышленных подземных вод и характер изменения в них концентраций редких элементов различны в разных районах и определяются общей гидрогеологической обстановкой, обусловленной геологической историей районов их распространения. В связи с этим изучение подземных промышленных вод и оценку их ресурсов целесообразно производить в границах естественных гидрогеологических регионов.

Районирование подземных промышленных вод является гидрогеологической основой для изучения региональных закономерностей их распространения. Научно обоснованное выделение обособленных районов необходимо также для выбора правильного методического подхода к региональной оценке прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов таких вод в связи с выявлением перспектив их практического использования. Ниже кратко излагаются принципы и схема гидрогеологического районирования подземных промышленных вод СССР, принятая при их изучении и оценке ресурсов.

В основу районирования подземных промышленных вод, как и общего гидрогеологического районирования, положен геоструктурный принцип; в соответствии с этим главными элементами районирования являются крупные гидрогеологические области (платформенные и горно-складчатые), при выделении которых принимаются во внимание основные геоструктурные элементы земной коры. В качестве такого рода гидрогеологических структур можно назвать древние и молодые платформы и горно-складчатые сооружения.

Крупные гидрогеологические структуры, характеризующиеся общностью закономерностей распространения подземных промышленных вод, согласно Н. А. Плотникову, объединяются в провинции подземных промышленных вод. В пределах отдельных частей таких провинций в связи с различными геолого-структурными условиями и гидрогеологическими особенностями процессы формирования ресурсов и химического состава подземных вод могут быть различными в аспекте геологической истории развития и в настоящее время. В связи с этим промышленные воды в пределах провинций могут иметь сходные условия и закономерности распространения в одних районах и отсутствовать в других. Иными словами, подземные промышленные воды в пределах провинций могут не иметь (и в большинстве случаев не имеют) выдержанного регионального распространения.

В некоторых крупных гидрогеологических областях промышленные подземные воды в изложенном выше понимании полностью отсутствуют, в связи с чем такие области не могут квалифицироваться как провинции промышленных вод. По имеющимся данным бесперспективными или малоперспективными являются области мезозойской складчатости Северо-Востока страны, каледонского и герцинского складчатого обрамления Западной и Восточной Сибири; ограниченное распространение лишь в пределах предгорных и межгорных впадин имеют промышленные воды в областях палеозойской складчатости Средней Азии и Казахстана.

В пределах провинции выделяются территории (гидрогеологические структуры второго порядка в принятом для общего гидрогеологического районирования понимании), которые рассматриваются в качестве районов (в частном случае — бассейнов) распространения подземных промышленных вод. Каждый такой район (бассейн) характеризуется своими особенностями геологической истории развития и условий формирования подземных вод, в отдельных районах провинций собственно промышленные воды могут отсутствовать совсем или иметь весьма ограниченное распространение.

В пределах территории страны выделяются следующие провинции и районы распространения подземных промышленных вод (табл. 4). Сопоставление основных показателей, характеризующих промышленные подземные воды различных провинций, свидетельствует об отличиях этих провинций, связанных с: 1) геологическим возрастом и структурно-тектоническим строением провинций, а также со стратиграфической приуроченностью вмещающих промышленные воды пород; 2) особенностями литоло-го-фациального состава и условиями формирования толщ этих пород; 3) характером (минерализацией, химическим составом) подземных вод; 4) величинами концентраций в воде полезных компонентов; 5) условиями залегания и распространения подземных промышленных вод.

Ниже приводятся краткие сведения общего характера о подземных промышленных водах провинций (рис. 1).

Провинция Русской платформы охватывает большую часть европейской части СССР. В пределах провинции подземные промышленные воды приурочены к впадинам, выделяемым в складчатом докембрийском фундаменте, а также к предгорным платформенным прогибам. Во впадинах и прогибах мощность зоны распространения промышленных подземных вод составляет 1000 — 3000 м, достигая иногда 5000 м. Ресурсы минерализованных промышленных вод сосредоточены в глубоких частях Тимано-Печорского, Волго-Камского, Прибалтийского, Московского, Днепровско-Донецкого и Предкарпатского бассейнов. В указанных районах наиболее перспективные для практического использования промышленные подземные воды связаны в основном с терригенными комплексами нижнего карбона — верхнего и среднего девона, характеризующимися сравнительно устойчивой и относительно высокой водообильностью, а также с трещиноватыми и закарсто-ванными карбонатными отложениями девонского возраста.

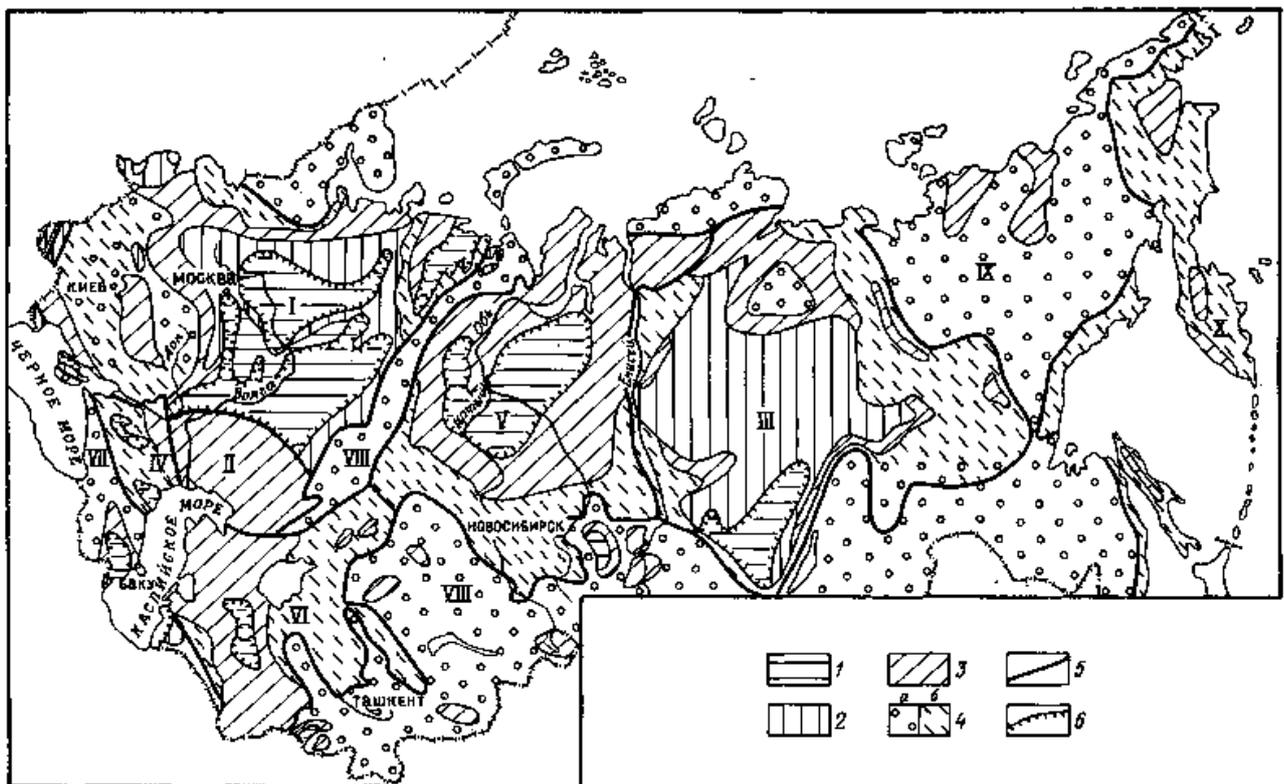


Рис. 1. Схема распространения и районирования подземных промышленных вод на территории СССР.

Провинции древних (докембрийских) платформенных областей: I - Русская. II Прикаспийская, III — Сибирская; провинции эпипалеозойских платформенных областей: IV — Скифская, V — Западно-Сибирская; VI — Туранская; провинции гидрогеологических складчатых областей: VII — альпийской, VIII — герцинской, IX — мезозойской, X — кайнозойской. Районы подъемных промышленных вод (йодных, бромных и йодобромных): 1 - весьма перспективные, 2 — перспективные, 3 — малоперспективные, 4 неперспективные горно-складчатые области и щиты (а) и платформы (б); границы: 5 — провинций, 6 — месторождений промышленных вод

В пределах провинции среди подземных промышленных вод преобладают рассолы с минерализацией 35 — 430 г/л, характеризующиеся хлоридно-кальциево-натриевым составом при минерализации до 330 г/л и хлоридно-натриево-кальциевым составом при минерализации свыше 320 г/л. Первые в той или иной мере насыщены метаново-азотными газами; геохимическая среда их распространения определяется величинами Eh от +100 до — 150 мВ и рН от 4,0 до 7,5. Из специфических компонентов в этих рассолах в незначительных количествах присутствуют водорастворимые органические вещества (0,35 — 20,0 мг/л), а также аммоний. Вторые характеризуются наличием растворенных газов азотно-метанового и метанового состава, а также величинами Eh от +13 до — 220 мВ и рН от 3,5 до 7,1. Из специфических компонентов характерно присутствие в этих рассолах железа (от 100 до 810 мг/л).

Подземные промышленные воды Русской платформы, обогащенные редкими элементами, изучались в разное время Л. С. Балашовым, С. С. Бондаренко, Г. В. Богомоловым, Г. А. Голевой, М. С. Галицыным, В. А. Кротовой, К. Е. Питьевой, Л. В. Славяновой и многими другими исследователями. Основные данные, характеризующие глубокие подземные воды и их ресурсы, получены при бурении на нефть и газ. В течение длительного времени гидрогеологические исследования, сопровождавшие такое бурение, ограничивались лишь общим анализом химического состава подземных вод и определением содержания в них йода и брома; изучение содержания и распространения в подземных водах редких металлов в широких масштабах осуществляется лишь в последнее десятилетие. Тем не менее имеющийся в настоящее время фактический материал позволяет достаточно полно и объективно охарактеризовать закономерности распространения подземных промышленных вод различного состава и некоторые показатели, характеризующие их ресурсы.

Провинции и районы распространения промышленных вод СССР

Типы* гидрогеологических структур	Провинции подземных промышленных вод	Район (бассейн)
Древние (докембрийские) платформенные области	Русской платформы	Тимано-Печорский, Северодвинский, Прибалтийский, Московский, Волго-Камский, Днепровско-Донецкий, При-пятский, Предкарпатский, Причерноморский
	Прикаспийская Сибирской платформы	Прикаспийский Ангаро-Ленский, Тунгусский, Якутский, Оленекский, Ха-тангский, Котуйский
Эпипалеозойские платформенные области	Скифской плиты	Азово-Кубанский, Терско-Кумский, Равнинно-Крымский
	Туранской плиты	Мангышлак-Устюртский, Амударьинский, Сарысуй-ский
	Западно-Сибирской плиты	Западно-Сибирский
Межгорные впадины и периклинальные опускания горно-складчатых регионов	Южно- Каспийская	Куринско-Апшеронский, Западно-Туркменский
	Южно-Таджикская	Душанбинский, Сурхандарь-инский, Кафирниганский, Яванский, Вахшский, Куляб-ский
	Ферганская	Ферганский
	Сахалинская	Северо-Сахалинский, Татарский, Поронайский
	Камчатская	Западно-Камчатский, Центрально-Камчатский, Восточно-Камчатский
Горно-складчатых регионов		Карпатский, Большекавказ-ский, Малокавказский, Па-мирский

Данные (как фактические, так и прогнозные) о величинах концентраций редких элементов в подземных водах Русской платформы приводятся в табл. 5. Эти данные свидетельствуют о некоторой связи величин концентраций редких элементов с минерализацией подземных рассолов и глубиной их залегания.

Таблица 5

Обобщенные сведения о концентрациях некоторых редких элементов в рассолах провинции Русской платформы

Тип воды	Минерализация, г/л	Концентрации редких элементов, мг/л			
		Cs	Rb	Sr	B
Cl-Ca-Na	35 — 75	0,1 — 0,4	0,1 — 0,5	50 — 150	5 — 30
	75 — 150	0,2 — 0,4	0,3 — 1,5	100 — 400	10 — 40
Cl-Na-Ca	150 — 340	0,2 — 1,0	1,0 — 3,0	100 — 300	5 — 30
	300 — 430	1,0 — 2,0	3,0 — 20,0	900 — 3000	90 — 100

При вскрытии глубоких подземных вод скважинами обычно имеют место нормальные гидростатические давления. Однако на отдельных участках Днепровско-Донецкой, Припятской, Тимано-Пе-чорской впадин встречаются случаи аномально высоких гидростатических давлений, что связано с процессами перестройки порового пространства водовмещающих и водоупорных пород под действием изменяющихся геостатических нагрузок в результате неотектонических движений, а также

с физико-химическими превращениями минералов на стадии катагенеза. Эти процессы ведут к уменьшению пористости и снижению проницаемости водоносных пород. Общее представление о водно-физических свойствах пород дают сведения о пористости и проницаемости палеозойских отложений (табл. 6).

Неравномерная в целом водоносность пород определяет разнообразие в распределении ресурсов подземных промышленных вод как в пределах провинции, так и в ее отдельных гидрогеологических районах.

Прикаспийская провинция расположена в пределах одноименной глубокой тектонической впадины с докембрийским складчатым фундаментом. От более приподнятой юго-западной окраины Русской платформы Прикаспийская впадина обособлена по всему периметру региональными глубинными разломами: на западе — Волгоградским, на севере — Жадовским и Уральско-Соль-Илецким бортовыми выступами, на востоке — Южно-Эмбенским поднятием, на юго-западе — валом Карпинского. На всем протяжении своей геологической истории впадина развивалась как отрицательная структура, что способствовало накоплению мощной (до 15 — 20 км) толщи осадочных отложений палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Формирование разновозрастных комплексов осадочных отложений происходило в меняющихся палеогеографических условиях, которым соответствуют различные этапы геолого-тектонического развития юго-востока Русской платформы и самой Прикаспийской впадины. Характерным для геологического строения впадины является повсеместное распространение соленосных отложений пермского возраста мощностью до 3 — 5 км и широкое развитие солянокупольной тектоники.

Таблица 6
Пористость и проницаемость палеозойских отложений

Возраст	Породы	
	терригенные	карбонатные
Девон	$\frac{5 — 25}{20 — 3000}$	$\frac{3 — 12}{—}$
Карбон	$\frac{9 — 36}{90 — 6400}$	$\frac{15 — 20}{90 — 500}$
Пермь	$\frac{5 — 26}{800 — 1100}$	$\frac{10 — 30}{6 — 6000}$

Примечание. В числителе — пористость (%), в знаменателе — проницаемость, (м²).

В осадочной толще выделяются надсолевой, солевой и подсолевой структурные и гидрогеологические этажи. Надсолевой структурный этаж подразделяется на два структурных яруса, один из которых включает отложения неогенового и четвертичного возраста общей мощностью 600 — 700 м, второй — надсолевою толщю отложений палеогена, мезозоя и верхней перми, мощность которой в центральной части артезианского бассейна достигает 4000 — 6000 м. Подземные воды надсолевого гидрогеологического этажа характеризуются пестрой минерализацией и преимущественно хлорид-но-натриевым (реже хлоридно-кальциево-натриевым) составом с незначительными концентрациями редких и рассеянных элементов. Солевой структурный этаж сложен галогенной толщей кунгур-ского яруса нижней перми и казанского яруса верхней перми. Внутрисолевые крепкие рассолы линзообразно запечатаны в доломитовых и ангидритовых коллекторах внутри соляных пород и имеют локальное распространение. Рассолы по химическому составу хлоридные натриево-магниевые-калиевые, магниевые-натриевые, магниевые с минерализацией 320 — 520 г/л. Концентрации полезных компонентов в них достигают (мг/л): калия — 60000, йода — 47, брома — 4250, бора — 1000, стронция — 3530.

Подсолевой структурный этаж условно выделяется от кровли докембрийского кристаллического фундамента до артинского яруса нижней перми включительно. Для этого этажа характерны весьма крепкие рассолы терригенных и терригенно-карбонатных нижнепермских докунгурских отложений и рассолы более низкой минерализации терригенных, карбонатных и карбонатно-сульфатных отложений карбона и девона. Подсолевые рассолы докунгурских отложений нижней перми имеют минерализацию 244 — 503 г/л, характеризуются хлоридным натриево-кальциевым и кальциевым (Са до 86%) составом и высокими концентрациями калия, редких и рассеянных элементов, абсолютные содержания которых достигают следующих величин (мг/л): калия — 10000, йода — 20, брома — 2500, стронция — 12000. Рассолы карбонатных и карбонатно-сульфатных отложений нижнего

карбона и верхнего девона имеют относительно пониженную минерализацию (198 — 390 г/л) и более низкие концентрации микроэлементов, чем в нижнепермских докунгурских рассолах, кроме йода, концентрации которого достигают местами 90 — 95 мг/л.

Замкнутый характер Прикаспийской впадины, длительные процессы прогибания и мощное осадконакопление, слабое дренирование подземных вод и подпор их со стороны Каспийского моря определяют в целом застойный характер режима глубоких подземных вод и их высокую минерализацию.

Провинция Сибирской платформы охватывает площадь Восточно-Сибирской платформенной области, преобладающая часть которой покрыта мощным чехлом осадочных отложений, выполняющих крупные платформенные впадины (Тунгусскую, Ви-люйскую, Хатангскую, Иркутский амфитеатр и др.) и примыкающие к ним предгорные прогибы (Приверхоанский, Оленекский).

Характерная особенность геологического развития платформы — наличие траппового магматизма, получившего широкое развитие в триасовое время и охватившего почти всю западную и центральную часть провинции. Другим специфическим фактором является повсеместное развитие многолетней мерзлоты, мощность зоны распространения которой достигает местами 1 км (Виллюйская синеклиза). На глубинах 2 — 3 км температура подземных вод обычно не превышает 25 — 30° С. Важное значение имеет и достаточно интенсивная неотектоническая активность региона, выразившаяся в формировании глыбовых линейно вытянутых и сводовых поднятий и опусканий, в активизации крупных разломов. Однако наибольшее влияние на формирование состава глубоких подземных вод Сибирской платформы оказало широкое развитие в нижнекембрийское время процессов галогенеза, сопровождавшееся накоплением мощной толщи соленосных отложений. Зона распространения нижнекембрийской соленосной толщи охватывает огромную площадь Ангаро-Ленского, Тунгусского и юго-западной части Якутского артезианских бассейнов.

Площадь распространения нижнекембрийских соленосных пород является областью локализации в нижних частях геологического разреза весьма крепких (с минерализацией 270 — 350 г/л) и сверхкрепких (с минерализацией до 700 г/л) рассолов хлоридного кальциевого, кальциево-натриевого и кальциево-магниевого состава. Рассолы характеризуются высокими, часто уникальными концентрациями редких и рассеянных элементов (мг/л): брома до 9000, стронция до 800, калия до 2000. В северной части Восточно-Сибирской провинции граница площади распространения высококонцентрированных рассолов выходит за пределы контура развития нижнекембрийских соленосных отложений, захватывая территорию Оленекского артезианского бассейна.

Подземные промышленные рассолы в наибольшей мере изучены в пределах Ангаро-Ленского, Тунгусского и частично Якутского артезианских бассейнов. Основные ресурсы этих рассолов аккумулируются в межсоленосных карбонатных и подсоленосных терригенно-карбонатных отложениях нижнекембрийского возраста. Широкое развитие мощной (до 400 — 500 м) зоны многолетнемерзлых пород в северной части территории Восточно-Сибирской провинции (северная часть Тунгусского, Оленекский, Хатангский бассейны) и наличие выдержанных пластов каменной соли в Ангаро-Ленском и южной части Тунгусского бассейнов создают обстановку весьма затрудненного водообмена. В зонах разрывов, омоложенных неотектонической деятельностью, зафиксированы выходы многочисленных источников минерализованных вод и рассолов на поверхность. С проникновением по разломам высококонцентрированных рассолов нижних зон гидрогеологического разреза в верхние связано формирование на огромной (300 — 400 тыс. км²) площади Тунгусского бассейна рассольных вод в терригенно-карбонатных отложениях нижнего и среднего палеозоя, континентальных угленосных образований верхнего палеозоя и вулканогенных пород нижнего триаса с аномальными (для вертикального уровня их локализации) величинами минерализации и концентрации редких и рассеянных элементов.

Провинция Скифской плиты охватывает территорию одноименной платформенной артезианской области. В ее пределах в осадочном чехле выделяется несколько водоносных комплексов, которые формируют крупную водонапорную систему, подразделяемую на взаимосвязанные, сложные по геологическому строению и гидрогеологическим условиям артезианские бассейны: Азово-Кубанский и Восточно-Предкавказский, разделенные Ставропольским поднятием, а также Равнинно-Крымский.

Главнейшие тектонические структуры в пределах провинции — Восточно-Кубанский прогиб, Адыгейский выступ, Западно-Кубанский прогиб, северное предгорье Большого Кавказа, Терско-Каспийский краевой прогиб, северное предгорье Большого Кавказа, моноклинальное погружение северного склона Кавказа, Терско-Каспийский краевой прогиб, Ставропольский свод, Прикуринское поднятие, Восточно-Маньчский и Чернолесский прогибы. Геолого-тектоническое строение Скифской плиты и отдельных ее районов усложняется наличием локальных антиклинальных

структур, приуроченных к зонам региональных субширотных и поперечных разломов.

Водонапорная система Скифской эпипалеозойской плиты подразделяется на два гидрогеологических этажа, разделенных мощной (до 1000 м) толщей майкопских глин. В разрезе пород выделяется до девяти водоносных комплексов: понт-меотический, сарматский, чокрак-караганский, майкопский, зоценовый, палеоценовый, верхнемеловой, нижнемеловой, юрский. Обогащены редкими и рассеянными элементами подземные воды с минерализацией 70 — 135 г/л преимущественно хлоридного и кальциево-натриевого состава в терригенных и карбонатных отложениях юрского, мелового и палеоген-неогенового возраста.

Таблица 7

Средние концентрации редких элементов в различных водоносных комплексах Азово-Кубанского и Восточно-Предкавказского бассейнов

Водоносные комплексы	Эквивалентная доля Са, %	Элементы, мг/л				
		Редкие металлы	I	B	Bг	Sr
<i>Азово-Кубанский бассейн</i>						
Юрский	51 (25) 9 (21)	19 (14)	19 (17)	29 (15)	122 (17)	158 (16)
Нижнемеловой	29 (55) 5,7 (52)	5 (31)	13 (46)	32 (48)	60 (50)	81 (31)
<i>Восточно-Предкавказский бассейн</i>						
Юрский	120 (46) 15 (45)	43 (43)	12 (41)	85 (35)	254 (41)	500 (33)
Нижнемеловой	84 (53) 11,4 (51)	30 (51)	14 (51)	91 (49)	173 (48)	343 (39)

Примечание. В скобках указано число опробованных площадей.

Подземные воды водоносных комплексов характеризуются значительными гидростатическими напорами (в ряде случаев аномальными), обеспечивающими их самоизлив на поверхность при вскрытии скважинами. Водообильность пород, заключающих промышленные подземные воды, изменяется в значительных пределах. Восточно-Предкавказский бассейн, отличающийся от других бассейнов этого региона повышенной тектонической активностью, характеризуется более высокими концентрациями редких и рассеянных элементов (табл. 7). Практический интерес представляют промышленные йодобромные воды Азово-Кубанского бассейна и подземные поликомпонентные рассолы юрских и меловых отложений Восточно-Предкавказского бассейна. И в том, и в другом районе промышленные подземные воды имеют высокую (до 80 — 100° С) температуру, что предопределяет возможность и целесообразность использования также их теплового потенциала.

Провинция Туранской плиты промышленных подземных вод приурочена к одноименной эпипалеозойской плите, имеющей складчатый палеозойский фундамент, перекрытый осадочными отложениями мезокайнозоя. В соответствии с геолого-тектоническим строением и гидрогеологическими условиями в пределах Туранской провинции выделяются артезианские бассейны первого порядка, в ряде случаев представляющие собой систему взаимосвязанных бассейнов второго порядка. К таким бассейнам относятся: Амударьинский (с бассейнами второго порядка Бухаро-Каршинским, Заунгузским, Центрально-Каракумским, Бадхызским,

Предкопетдагским); Мангышлак-Устюртский (с бассейнами второго порядка Северо-Мангышлакским, Южно-Мангышлакским, Устюртским); Сырдарьинский (с бассейнами второго порядка Приаральским, Кызылкумским, Арыским); Чу-Сарысуйский; Тургайский; Северо-Аральский (с входящими в него Челкарским, Чокусинским, Джилакским и Тугуским бассейнами второго порядка); Центрально-Кызылкумский (включающий группу малых бассейнов Карачатинский, Мынбулакский, Бешбулакский, Кызылканский, Ташкуринский); Туаркырский.

В толще мезокайнозойских отложений, выполняющих депрес-сионные структуры Туранской плиты, заключены значительные запасы промышленных, лечебных минеральных и теплоэнергетических подземных вод, что дает основание рассматривать перспективные гидрогеологические районы этой провинции как объекты возможного комплексного использования подземных вод различных типов. Собственно промышленные подземные воды приурочены в пределах крупных артезианских бассейнов (Амударьинского, Мангышлак-Устюртского, Сырдарьинского) преимущественно к юрским и меловым отложениям.

Промышленные подземные воды Туранской провинции залегают на глубинах 100 — 3000 м, характеризуются высокой минерализацией (150 — 500 г/л) и в некоторых районах повышенными концентрациями редких щелочных металлов и рассеянных элементов. Так, в водах юрских отложений Амударьинского бассейна при минерализации этих вод 300 — 370 г/л концентрации полезных компонентов достигают значительных величин (мг/л): редких металлов до 100 — 160, йода до 33 — 42, брома до 1300 — 1800, бора до 1000 — 1700, стронция до 2300 — 4150. Аналогичные концентрации редких и рассеянных элементов свойственны подземным водам доюрских и юрских отложений Мангышлак-Устюртского бассейна. Подземные воды меловых отложений Сырдарьинского бассейна в основном пресные и слабоминерализованные, содержащие рассеянные элементы и редкие металлы в незначительных количествах. В то же время эти подземные воды являются термальными и минеральными, что позволяет планировать их более широкое использование в бальнеологии и для теплофикации.

Провинция Западно-Сибирской плиты в геологическом отношении представляет собой платформу, фундамент которой сложен дислоцированными осадочными и метаморфическими породами домезозойского возраста, а чехол — осадочными отложениями мезозоя и кайнозоя. Палеозойские отложения фундамента представлены дислоцированными и смятыми в крутые складки в разной степени метаморфизованными известняками и песчаниками, чередующимися с алевролитами, конгломератами, туфами, сланцами и др. К плитному комплексу фундамента относятся также триасовые отложения, не имеющие сплошного распространения и выполняющие отдельные впадины в палеозойском основании платформы.

Осадочные отложения чехла платформы, представленные преимущественно терригенными породами юры, мела и кайнозоя, осложнены пологими тектоническими структурами разного порядка, формы и амплитуды. Основными элементами структурного плана являются внешний пояс и внутренняя зона плиты. Внешний пояс охватывает краевые части плиты и характеризуется наибольшей интенсивностью погружения основания и сравнительно большими амплитудами структур второго порядка. Внутренняя область плиты отличается большой полнотой разреза отложений осадочного чехла и преобладанием отрицательных геологических структур.

Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна приурочены к осадочным отложениям мезокайнозоя и верхней трещиноватой зоне палеозойского фундамента. По условиям питания и разгрузки, химическому составу подземных вод и характеру их связи с поверхностными водами артезианский бассейн разделяется на два гидрогеологических этажа. В состав верхнего входят континентальные песчано-глинистые отложения четвертичного, неогенового и палеогенового возраста. Характерной особенностью этих отложений является сравнительно высокая проницаемость и незначительная плотность пород этого этажа, тесная гидравлическая связь подземных вод палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений с поверхностными. Нижний гидрогеологический этаж охватывает мезозойские отложения и включает четыре водоносных комплекса, разделенных региональными водоупорными толщами. Подземные промышленные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна связаны с водоносными комплексами (апт-сеноманским, неокомским и юрским) нижнего гидрогеологического этажа.

Подземным водам Западно-Сибирского бассейна присуща достаточно четко выраженная гидрогеохимическая зональность. Она проявляется в закономерном увеличении минерализации подземных вод от прибортовых частей впадины к наиболее погруженным центральным и в смене в этом же направлении гидрокарбонатных и сульфатных вод хлоридными натриевыми. Промышленные йодные воды бассейна характеризуются исключительно хлоридно-натриевым составом, сравнительно низкой (25 — 35 г/л) минерализацией, залегают на глубинах 1500 — 2500 м и распространены в центральной части впадины.

Южно-Каспийская провинция является крупным районом распространения подземных промышленных вод. Приурочена она к Южно-Каспийской впадине, центральная часть которой занята Каспийским морем, западный склон — Прикуринской впадиной, восточный — Западно-Туркменской. Тектонические, литолого-стратиграфические и гидрогеологические условия Прикуринской и Западно-Туркменской впадин сходны. Обе впадины выполнены мощной (до 10 км) толщей отложений мезокайнозоя и характеризуются наличием зон локальных актиклинальных поднятий, обусловленных проявлением новейших тектонических движений. К этим поднятиям приурочены месторождения нефти и газа и видимые проявления подземных промышленных вод.

Подземные промышленные воды локализуются в пределах провинции в песчано-глинистых отложениях плиоцена. Наиболее перспективными по количеству ресурсов промышленных вод являются: в Западно-Туркменской впадине — водоносный комплекс в красноцветной толще, в

Прикуринской впадине и на Апшеронском полуострове — водоносный комплекс в продуктивной толще (являющийся аналогом красноцветного), а также водоносный комплекс в апшеронских отложениях. Во всех случаях водоносными являются пакки песков, чередующиеся с глинами и алевролитами.

Промышленные подземные воды как в Прикуринской, так и в Западно-Туркменской впадинах характеризуются преимущественно хлоридным кальциево-натриевым составом и минерализацией от 20 до 200 г/л в пределах Азербайджанской ССР и до 300 г/л в пределах Туркменской ССР. В глубоких частях разреза продуктивной и красноцветной толщ, особенно в пределах нефтегазоносных тектонически нарушенных структур, подземные воды имеют минерализацию обычно 150 — 200 г/л и характеризуются повышенными содержаниями йода, брома и бора, сравнительно высокими температурой (до 70 — 85° С) и газонасыщенностью.

Южно-Таджикская провинция подземных промышленных вод выделяется в пределах одноименной тектонической депрессии, расположенной между горными сооружениями южного Тянь-Шаня на севере Памиро-Гиндукуша на юге и востоке. Выполняющие впадину осадочные отложения, мощность которых достигает 14 км, представлены толщами карбонатных, песчано-глинистых и соленосных пород мезокайнозойского возраста и молассами неоген-четвертичного. Структура депрессии характеризуется наличием крупных синклиналий и антиклиналий субширотного простирания в северной части депрессии и меридионального в южной.

Благодаря широкому развитию мощных эвапоритовых формаций юрского возраста в пределах провинции широко проявилась соляная тектоника; одной из специфических черт структурного плана депрессии является широкое развитие также разломной тектоники.

С Южно-Таджикской впадиной связан одноименный артезианский бассейн, представляющий собой сложно построенную водонапорную систему. В геологическом разрезе бассейна выделяется несколько водоносных комплексов. Наиболее высокие концентрации редких и рассеянных элементов установлены в хлоридных кальциево-натриевых рассолах соленосной толщи гаур-дакского яруса средней юры. Однако в связи с низкой водообильностью этих отложений фактическое использование таких рассолов в качестве гидроминерального сырья нецелесообразно. Сравнительно высокими концентрациями (мг/л) редких и рассеянных элементов (щелочных металлов до 400, йода до 50, брома до 1000, бора до 500) характеризуются термальные (до 120° С) рассолы с минерализацией от 100 до 370 г/л среднего структурного этажа, к которому относятся водоносные комплексы альбапских, турон-сеноманских и бухарских отложений. Коллекторские свойства этих отложений непостоянны и изменяются в широких пределах; тем не менее в некоторых районах провинции водопроницаемость комплексов достигает десятков квадратных метров в сутки, что обеспечивает положительную оценку перспектив использования промышленных подземных вод.

В пределах Южно-Таджикской провинции выделяются Душанбинский, Сурхандарьинский, Кафирниганский, Яванский, Вахшский, Кулябский артезианские бассейны, характеризующиеся широким распространением в их пределах на глубинах 1000 — 3000 м промышленных подземных вод, которые при дальнейшем изучении и гидрогеолого-экономическом обосновании могут рассматриваться как гидроминеральное сырье для промышленного получения йода, брома, щелочных металлов, бора и других компонентов.

Ферганская провинция охватывает одноименную крупную межгорную депрессию, выполняемой многокилометровой (до 9 км) толщей осадочных пород мезокайнозойского возраста. В пределах депрессии выделяются: центральная зона, характеризующаяся максимальной мощностью осадочного чехла; адырная зона, представляющая собой зону развития положительных и отрицательных структур, окаймляющих впадину с севера, востока и юга; заадырная зона, в пределах которой развиты впадины, выполненные осадочными породами сравнительно небольшой мощности (до 1,5 км); горное обрамление.

Подземные воды с высокими концентрациями редких и рассеянных элементов широко распространены в центральной и адырной зонах бассейна, где приурочены к водоносным комплексам в отложениях неогена, палеогена, мела и юры. Однако в центральной части Ферганского бассейна эти водоносные комплексы залегают на значительных малодоступных для рентабельного использования глубинах. В адырной зоне они вскрыты большим числом глубоких скважин. Наиболее характерными для подземных вод этой зоны являются значительные колебания минерализации (от 25 до 250 г/л) и содержания микрокомпонентов. Не выдержанные как по площади, так и в разрезе концентрации полезных компонентов в сочетании с чрезвычайно пестрой изменчивостью водообильности водовмещающих пород различных комплексов определяют незначительные перспективы использования промышленных вод этого региона.

Сахалинская провинция охватывает о-в Сахалин, расположенный во внешней зоне Тихоокеанского кайнозойского вулканогенно-тектонического пояса. Несмотря на то, что о-в Сахалин относится к складчатым областям, его артезианские бассейны занимают площадь 50 тыс. км², тогда как площадь бассейнов трещинных вод и промежуточных бассейнов положительных структур составляет всего 28 тыс. км². Артезианские и адартезианские бассейны о-ва Сахалин являются частью крупных субмаринных бассейнов: Северо-Сахалинский и Диановский — частью Дерюгинского; Пограничный, Поронайский и Сусунайский — частью Северо-Охотского; Александровский и Татарский — частью Япономорского. Это наложило отпечаток на условия формирования подземных вод и их химический состав.

В вертикальном разрезе артезианских бассейнов Сахалина выделяют зоны: пресных вод с минерализацией до 1 г/л; слабосоленых вод с минерализацией 1 — 3 г/л; сильносоленых с минерализацией 3 — 10 г/л; слабосоленых с минерализацией 20 — 25 г/л. В последних трех зонах широко распространены хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые метановые и азотно-метановые бессульфатные воды. Одной из характерных особенностей этих вод является повышенное содержание в них йода, иногда также бора.

Обогащенные йодом и бором подземные воды выявлены и в пределах некоторых малых артезианских бассейнов третьего порядка, приуроченных к крупным бассейнам трещинных вод (например, в пределах Пограничного и Лютогского бассейнов). Однако перспективными на промышленные йодные, а иногда и бороносные воды являются крупные Северо-Сахалинский и Татарский бассейны. В то же время в пределах этих бассейнов пока ресурсы гидроминерального сырья не могут быть определены из-за весьма слабой их гидрогеологической изученности.

Камчатская провинция охватывает крупные отрицательные структуры Камчатского п-ова: Западно-Камчатский и Центральнo-Камчатский прогибы с приуроченными к ним бассейнами подземных вод. В неогеновых и палеогеновых комплексах осадочных и вулканогенно-осадочных отложений погруженных частей этих бассейнов циркулируют термальные воды преимущественно хлоридно-натриевого состава с минерализацией 10 — 25 г/л, насыщенные метановыми и азотно-метановыми газами. Эти воды содержат повышенные концентрации йода (до 20 — 60 мг/л), бора (до 25 — 50 мг/л) и редких щелочных металлов (до 25 — 30 мг/л). При слабой изученности артезианских бассейнов Камчатки и отсутствии специальных исследований фильтрационных свойств водовмещающих отложений в настоящее время отсутствует основа для реальной оценки перспектив использования подземных вод, обогащенных редкими элементами. Более того, имеющиеся данные по отдельным опробованным участкам распространения таких вод указывают в целом на низкую водообильность горизонтов, аккумулирующих промышленные и термальные воды.

В пределах горно-складчатых областей проявления подземных промышленных вод носят очаговый характер; эти проявления формируются главным образом во внутренних и внешних зонах поясов альпийской и кайнозойской складчатости под влиянием ряда факторов, главными из которых являются структурно-тектонические, гидрогеологические и геотермические. Наиболее значительными концентрациями редких элементов обладают обогащенные углекислотой (углекислые, азотно-углекислые) термальные хлоридные воды. При относительно малой минерализации (обычно менее 35 г/л) углекислые воды альпийских горных сооружений могут содержать весьма высокие концентрации как катионогенных, так и анионогенных элементов. По процентному отношению концентраций редких элементов к минерализации относительно слабоминерализованные углекислые и углекисло-азотные воды горно-складчатых областей в ряде случаев превосходят промышленные минерализованные воды и рассолы платформ, краевых прогибов и межгорных впадин.

Существенным препятствием для промышленного извлечения редких металлов и бора из углекислых вод являются, как правило, незначительные их ресурсы и эксплуатационные запасы. Единичные месторождения углекислых и углекисло-азотных терм и бора формируются в очагах разгрузки крупных водонапорных систем (Сульфур Бане в США, Вайракей в Новой Зеландии). К такому типу месторождений могут быть условно отнесены Пау-жетское, Узонское, Налычевское на Камчатке и в меньшей степени Анкованское и Дарыдагское на Малом Кавказе.

Краткий обзор распространения подземных промышленных вод свидетельствует о том, что СССР обладает большими ресурсами подземных вод и рассолов, обогащенных рассеянными элементами и редкими металлами. В подземных водах некоторых районов СССР концентрации промышленно ценных компонентов часто превышают концентрации одноименных компонентов в водах некоторых эксплуатируемых месторождений зарубежных стран.

К настоящему времени республиканскими и территориальными производственными и научно-

исследовательскими организациями выполнена региональная оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных промышленных вод во всех известных районах их распространения. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) обобщены результаты этих работ и составлена Сводная карта прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов гидроминерального сырья СССР масштаба 1:2500000. Эти исследования дали возможность:

- 1) выявить основные гидрогеохимические закономерности распространения подземных промышленных вод;
- 2) изучить особенности динамики подземных глубоких горизонтов крупных артезианских бассейнов и закономерности изменения по площади и с глубиной фильтрационных параметров основных водоносных комплексов и горизонтов;
- 3) установить связь основных гидрогеохимических закономерностей с особенностями динамики подземных вод, положением областей создания напора и разгрузки глубоких водоносных горизонтов;
- 4) охарактеризовать и схематизировать гидрогеологические условия применительно к гидродинамическим расчетам;
- 5) выполнить оценку прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов промышленных подземных вод гидродинамическими методами на геолого-экономической основе.

Большой объем гидрогеохимических исследований и построений, выполненных при оценке и картировании ресурсов подземных промышленных вод, существенно расширил представления о потенциальных возможностях использования глубоких подземных вод в качестве гидроминерального сырья. Установлено и подтверждено гидрогеологическими и геолого-экономическими расчетами, что высокоминерализованные воды и рассолы, свойственные глубоким частям крупных артезианских бассейнов, характеризуются, как правило, наличием повышенных концентраций не одного-двух, а нескольких полезных для промышленного извлечения компонентов в разнообразных для различных бассейнов сочетаниях (табл. 8). Это предопределяет возможность использования подземных промышленных вод в качестве комплексного гидроминерального сырья для извлечения рассеянных элементов, редких металлов и минеральных солей, что, в свою очередь, влечет снижение себестоимости конечной продукции и повышение рентабельности предприятий по добыче и переработке промышленных вод.

Помимо улучшения технико-экономических показателей производства, комплексное использование гидроминерального сырья при применении малоотходной технологии его переработки способствует решению проблемы сброса отработанных промышленных вод и охраны окружающей природной среды.

Таблица 8
Сочетания полезных компонентов в промышленных водах крупных артезианских бассейнов

Характерные районы (бассейны) распространения подземных промышленных вод	Элементы	Характерные районы (бассейны) распространения подземных промышленных вод	Элементы
Восточно-Предкавказский, Южно-Таджикский	I, Br, Sr, Cs,	Московский	Br, Sr
	B, Rb		
Амударьинский, Волго-Камский, Припятский	I, Br, Sr, B, Rb	Прибалтийский	Br, Sr
Тунгусский	Br, Sr, B, Rb, Cs	Западно-Туркменский, Куринско-Апшеронский	I, Br, Sr
Ангаро-Ленский, Мангышлак-Устюртский, Днепровско-Донецкий	Br, Sr, B, Rb	Западно-Сибирский, Сахалинский	I, Br

Многокомпонентные промышленные подземные воды формируются во многих артезианских бассейнах Восточно-Европейской (Волго-Камский, Тимано-Печорский, Припятский, Московский, Днепровско-Донецкий), Восточно-Сибирской (Тунгусский, Якутский, Ангаро-Ленский), Скифско-Туранской (Восточно-Предкавказский, Азово-Кубанский, Мангышлак-Устюртский, Амударьинский) платформенных областей, а также в отдельных артезианских бассейнах молодых прогибов

альпийской складчатости (Южно-Таджикский, Ферганский). Наличие комплекса редких и рассеянных элементов сочетается в ряде районов с высокими концентрациями. Однако сведения о числе полезных компонентов и их концентрациях без учета комплекса гидрогеологических факторов, характеризующих фильтрационные свойства водовмещающих пород, их водопроницаемость и водообильность, глубину залегания, а также экономических показателей добычи и переработки промышленных вод недостаточны для оценки перспектив того или иного бассейна, района или месторождения.

Дополнительным источником редких элементов могут служить попутные воды, добываемые вместе с нефтью и другими полезными ископаемыми. Эти воды, являясь частью пластовых вод артезианских бассейнов, часто содержат повышенные концентрации йода, брома, лития, бора, стронция, магния, рубидия, цезия, германия и др. Однако практическое использование попутных вод затрудняется по следующим причинам. Во-первых, количество попутных вод (обычно незначительное по сравнению с запасами месторождений собственно гидроминерального сырья) целиком определяется режимом эксплуатации месторождений полезных ископаемых, в частности нефтяных залежей; во-вторых, повсеместная эксплуатация нефтяных месторождений с поддержанием пластового давления путем законтурной или внутриконтурной закачки воды в разрабатываемые горизонты приводит (или будет приводить) к разубоживанию попутных вод и ухудшению их качества как гидроминерального сырья. В-третьих, попутные воды нефтяных месторождений требуют очистки от нефтепродуктов и нафтеновых кислот, стоимость которой сопоставима со стоимостью добычи и переработки гидроминерального сырья. Последнее, как свидетельствует практический опыт, значительно увеличивает себестоимость продукции по сравнению с той, которую получают при использовании чистых пластовых вод.

Таблица 9

Добыча редких элементов и минеральных солей в развитых капиталистических и развивающихся странах

Товарная продукция	Общая добыча, тыс. т/год	Добыча из гидроминерального сырья		
		тыс. т/год	% от общей добычи	млн. дол.
Поваренная соль	120000	36000	30	360
Калийные соли	16000	1400	9	210
Сода	35000	3500	10	290
Сульфат натрия	4600	1400	30	15
Хлорид кальция	2700	600	22	300
Бор (B ₂ O ₃)	1000	250	25	200
Бром	350	320	90	210
Магний	200	50	25	100
Литий (карбонат)	40	17	30	340
Йод	13	11	85	170

В СССР из подземных вод в промышленных масштабах добывают пока только йод и бром. Целесообразность более широкого использования глубоких подземных вод в качестве гидроминерального сырья определяется рядом преимуществ этого вида полезных ископаемых по сравнению с традиционными рудными месторождениями. Эти преимущества сводятся к следующему: 1) промышленные воды характеризуются широким распространением, что определяет возможность выбора участков для разведки и промышленного строительства с учетом не только экономических, но также социальных и экологических факторов; 2) разработка месторождений осуществляется скважинами и не требует проведения капиталоемких горных работ, переработки и обогащения большой массы горных пород; 3) промышленные воды во многих случаях имеют высокую температуру и газонасыщенность, что предопределяет возможность и целесообразность попутного использования их теплового потенциала, а иногда и попутного горючего газа; 4) эксплуатация гидроминерального сырья скважинными водозаборами позволяет автоматизировать систему разработки месторождений с использованием современной техники и электронных вычислительных машин; 5) широкое распространение подземных промышленных вод обеспечивает постоянство качества сырья и содержания полезных компонентов в течение всего периода

эксплуатации месторождений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД ЗА РУБЕЖОМ

В ряде развитых капиталистических стран (США, Японии, Италии, ФРГ и др.) достигнуты определенные успехи в использовании гидроминерального сырья, добыча редких элементов и минеральных солей из которого в денежном выражении превышает 2 млрд. дол. в год (табл. 9). Пока удерживает первое место в мире по производству из гидроминерального сырья: США — лития (около 16 тыс. т/год карбоната), брома (до 190 тыс. т/год), оксида магния (до 750 тыс. т/год), поваренной соли (около 16 000 тыс. т/год); Япония — йода (до 7,5 тыс. т/год); Италия — боратов (около 35 тыс. т/год) и т. д. Сохраняется тенденция к расширению использования различных видов гидроминерального сырья для промышленного производства редкометалльной и химической продукции.

Таблица 10

Основные виды гидроминерального сырья капиталистических и развивающихся стран

Подтип	Класс	Подкласс	Ценные элементы	Примеры
А. Природные	Подземные	Гидротермы межконтинентальных рифтовых зон	CaCl ₂ , CO ₂ (NaCl, Zn, Cu, Pb, Fe, Ag, Li, Br)	Атлантис П (Красное море) Солтон-Си (шт. Калифорния)
		Гидротермы островных дуг и областей альпийской складчатости	B, NH ₄ (Ge, W, Cs, Li, As)	Япония, термы Тосканы (Италия)
		Рассолы и воды артезианских бассейнов	NaCl, KCl, CaCl ₂ , Mg, Br, I (Li, Cs, Sr, B)	Шт. Мичиган (США) Преф. Ниигата (Япония)
	Рассолы современных солеродных бассейнов	NaCl, Na ₂ CO ₃ , K, Li, Br, B (W, Rb)	Серлз (США), Натрон (Вост. Африка)	
Поверхностные			NaCl, KCl, K ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₄ , Mg, Br (Rb, Li) NaCl, CaCl ₂ , Mg, K, Li (S, Rb)	Большое Соленое озеро (США) Сильвер-Пик (США)
		Морские воды	NaCl, CaSO ₄ , Mg, Br, K (U, Li, B, D ₂ O)	США, ФРГ, Япония
	Б. Природно-техногенные		Сточные воды и рассолы: нефтепромыслов теплоэнергетических установок	Br, I CaCl ₂ (NaCl, Zn, Pb, Fe, Ag, Li)
солепромыслов калийных предприятий			Br, B, Rb	ФРГ, Франция
опреснительных установок			NaCl	Япония

Примечание. В скобках указаны элементы, технологическое извлечение которых осваивается.

В качестве гидроминерального сырья используются (табл. 10): термальные рассолы межконтинентальных рифтовых зон; термальные воды и рассолы островных дуг и областей альпийской складчатости; рассолы артезианских бассейнов; рассолы современных эвапоритовых бассейнов; морские воды. В качестве возможного гидроминерального сырья рассматриваются попутные и сточные воды, которые в первичном состоянии могут относиться к одному из перечисленных пяти его видов.

Термальные рассолы рифтовых зон (Калифорнийский залив, Красное море) рассматриваются как потенциальный сырьевой источник хлорида кальция, поваренной соли, брома, меди, цинка, свинца, железа, серебра и других ценных элементов.

Термальные рассолы Красного моря связаны с эпиплатформенным рифтом, который через Эфиопский рифт соединяется с Африканскими рифтовыми долинами. В некоторых впадинах (Суанин, Нереус, Атлантис П, Дискавери и Чейн) центрального трога Красного моря придонная вода отличается крайне высокой минерализацией (до 257 г/л) и повышенной температурой. Некоторые

данные о составе вод Красного моря приведены в табл. 11. Термальные рассолы в сопоставлении с морской водой обогащены хлоридом натрия и характеризуются относительно высокими концентрациями калия, железа, марганца, цинка, брома и некоторых других элементов.

Таблица 11

Состав термальных рассолов и вод Красного моря, г/кг

Компоненты и показатели	Впадина Атлантис II		Впадина Дискавери		Вода океана
	1	2	1	2	
Na ⁺	92,60	113,25	93,05	103,85	10,75
K ⁺	1,87	2,69	2,14	2; 74	0,39
Ca ²⁺	5,15	5,81	5,12	3,97	0,41
Mg ²⁺	0,76	0,9	0,81	1,48	1,29
NH ₄	—	0,016	—	0,058	—
Cl	156,03	190,06	165,3	180,85	19,35
B ₂ -	0,13	—	0,12	—	0,066
SO ₄	0,84	0,82	0,7	0,48	2,71
HCO ₃	0,14	—	0,03	—	0,72
Si	0,03	0,0004	0,003	0,0002	2*10 ⁻³
Fe	0,08	0,013	0,003	0,0066	2*10 ⁻⁵
Mn	0,08	0,11	0,05	0,042	1*10 ⁻⁵
Zn	0,005	0,0025	0,0008	0,0105	5*10 ⁻⁶
Cu	0,0003	0,00066	0,0001	0,0099	1*10 ⁻⁵
Co	0,0002	0,0015	0,0001	—	—
Rb	0,0006	0,003	0,0002	0,00048	4*10 ⁻⁶
Ni	—	0,0015	0,0003	—	4*10 ⁻⁷
Соленость	257,76	307,6	257,37	291,8	35,71
T. °C	56,5	—	44,7	—	—
Y	1,178	—	1,183	—	1,03
pH	5	5,8	—	6,4	—

Калифорнийский эпейрогенный рифт, простирающийся между Калифорнийским заливом и оз. Солтон-Си отвечает структурной депрессии Солтон-Си, характеризуется приуроченностью нескольких геотермальных систем (в том числе Сьерро-Прието и Солтон-Си), трассирующихся проявлением четвертичного вулканизма и выходами горячих источников и парогазовых струй с исключительно высокими температурами (более 360° C) и повышенной минерализацией вод (табл. 12).

На гидротермальном месторождении Сьерро-Прието действует геотЭС, мощность которой в 1980 г. составляла 150 МВт; к 1985 г. планировалось довести эту мощность до 400 МВт. Имеется также геотЭС на гидротермальном месторождении Солтон-Си. Здесь, по расчетам Г. Хельгесона, одна глубокая скважина может продуцировать до 10000 м³ флюида в сутки и выносить на поверхность до 2700 т солей. В связи с предполагаемым увеличением мощности геотЭС и соответственно количества добываемой жидкости возникает вопрос об утилизации солей и извлечении ценных компонентов. Периодически -здесь из добываемых подземных вод получают хлорид кальция; в 1934 — 1954 гг. из рассолов добывали угольную кислоту, общее производство которой за указанный период составило 70 млн. м³; ведутся исследования по извлечению также цинка, железа, магния и свинца.

Термальные воды и рассолы островных дуг и областей альпийской складчатости используются для добычи бора и аммиачных продуктов; имеются противоречивые сведения о завершении технологических разработок по извлечению из термальных вод и рассолов германия, вольфрама, цезия, лития и мышьяка. Наиболее известным примером в этом аспекте является использование термальных вод месторождения Лардерелло (провинция Тоскана, Италия), где наряду с использованием геотермальной энергии осуществляется добыча бора и аммиачных продуктов. Температура получаемой пароводяной смеси равна 220 — 230° C; общая производительность водозабора, насчитывающего до 500 скважин средней глубиной 620 м, достигала 70 — 75 тыс. т/сут. Содержание борной кислоты в водах боросодержащих источников провинции Тоскана колеблется от 0,1 до 0,7%. Представляют практический интерес гидротермы Исландии, Японии и Новой Зеландии.

Таблица 12

Химический состав термальных флюидов гидротермальных систем Калифорнийской рифтовой зоны, мг/л

Компоненты и показатели	Сьерро-Прието	Солтон-Си		Компоненты и показатели	Сьерро-Прието	Солтон-Си	
		1	2			1	2
HCO ₃	1653	150	—	Fe	0,2	2290	—
CO ₃	—	—	—	Mn	—	1400	—
SO ₄	0,0	—	10	Sr	—	400	—
Cl	10420	1 55 000	1 84 000	Ba	—	235	—
I	3,1	18	—	Zn	—	540	—
F	—	15	—	Pb	—	102	—
Br	14,1	120	700	H ₂ S	12	16	—
MH ₄	—	409	500	H ₃ BO ₃	70,9	2232	498 (B)
Na	5820	50 400	54 000	H ₂ SiO ₃	961,3	540	—
K	1570	17500	23 800	Al	—	4,2	—
Li	19	215	320	As	—	12	—
Rb	—	135	100	Cu	—	8	—
Cs	—	14	20	Ag	—	1	—
Ca	280	28000	40000	M	19770	258 000	—
Mg	8	54	20	pH	6,7	5,2	5,5
				T, °C	340	300	—

Примечание: 1 — термальный рассол; 2 - иловая вода.

Воды и рассолы артезианских бассейнов широко используются для добычи поваренной соли, солей калия и кальция, а также магния, йода и брома; ведутся технологические разработки по извлечению лития, цезия, стронция и бора. Наиболее интересными примерами использования этой разновидности гидроминерального сырья является применение концентрированных рассолов в шт. Мичиган и Оклахома в США и подземных минерализованных вод в префектурах Канто и Ниигата и на п-ове Чива в Японии.

Продуктивные водоносные комплексы Мичиганского бассейна сложены разновозрастными (от ордовика до плейстоцена) карбонатными, терригенными и эвапоритовыми отложениями. Водоносные породы в шт. Оклахома представлены преимущественно известняками и доломитами и реже песчаниками. Глубина залегания рассолов достигает 3 — 4 км и более; минерализация рассолов колеблется от 225 до 580 г/л (табл. 13). Из рассолов в промышленных масштабах добывают хлориды кальция и магния, бром и йод.

В Японии имеются системы артезианских бассейнов, представленные небольшими впадинами, выполненными палеоген-неогеновыми и четвертичными отложениями. Одно из наиболее крупных в мире месторождений йода связано с бассейном Канто, в пределах которого в средне-позднеплиоценовых отложениях, имеющих мощность 2800 м и представленных песками и глинами, на площади около 12 тыс. км² распространены воды, концентрации йода в которых достигают 160 мг/л.

Рассолы современных эвапоритовых бассейнов используются для получения соды, поваренной соли, солей калия и лития, а также йода и брома. Такие бассейны известны в США (озера Сёрлз, Сильвер-Пик, Бристоль, Большое Соленое озеро, Большое Борное озеро), КНР (Пайдамская впадина), Чили (салар Атакама), а также в Турции, Иране, Афганистане, Индии, Мексике и других странах.

Наиболее интересным и хорошо известным по работам Т. Ф. Бойко, Б. И. Когана и В. А. Названовой и других является месторождение рассолов карбонатного типа сухого соленого оз. Сёрлз в шт. Калифорния, США. Эксплуатация рассолов осуществляется заводом в г. Трона с целью получения соды, сульфата натрия, хлорида калия, сульфата калия, брома и бромидов, очищенной буры, борной кислоты, карбоната натрия, фосфорной кислоты, карбоната (а также фосфата и сульфата) лития.

Озеро Сильвер-Пик расположено в шт. Невада (США) в бессточной долине Клайтон, выполненной рыхлыми терригенными отложениями мощностью 220 м, вмещающими рапу хлоридного типа с минерализацией до 200 г/л и концентрацией лития 0,04%. С помощью солнечной испарительной системы концентрация лития в рапе повышается до 0,5%; запасы лития в Сильвер-Пик неоднократно переоценивались в пределах от 10 до 1 млн. т (в пересчете на оксид лития).

В Чили с саларом Атакама связано одно из крупнейших месторождений хлоридных рассолов, насыщающих озерные отложения, содержание лития в которых достигает 0,2%; запасы лития (в виде его оксида) оцениваются специалистами в 0,85 млн. т.

Рассолы Большого Соленого озера (США), имеющего площадь 2,5 тыс. км² и глубину 8 — 15 м, содержат 3,2 млрд. т поваренной соли, 450 — 540 млн. т сульфата натрия, 180 млн. т солей калия, 4

млн. т хлористого лития; из рассолов здесь добывают поваренную соль, соли калия, магний и бром; намечается добыча лития и рубидия.

Из морской воды в промышленных масштабах добывают натрий, хлор, магний и бром. При производстве хлоридов натрия и соединений магния попутно извлекаются соли кальция и калия. Запатентовано немало способов извлечения из морской воды также йода, калия, золота и серебра; имеются проекты добычи урана и лития. Мировой океан, содержащий около 270 000 млрд. т D₂O, является весьма перспективным источником для получения тяжелой воды. С учетом незначительных концентраций элементов в большинстве случаев морские воды требуют дополнительного концентрирования.

Попутные и сточные воды и рассолы, прошедшие определенный цикл технологической переработки, в ряде случаев могут использоваться в качестве сырьевого источника ценных элементов. Эти воды рассматриваются как природно-техногенная разновидность гидроминерального сырья. К ним относятся рассолы нефтепромыслов, теплоэнергетических установок, солепромыслов и предприятий по производству калийных солей с применением методов выщелачивания и галургических приемов переработки, опреснительных установок и т. д. Это сырье используется для добычи брома и йода (нефтяные воды шт. Оклахома, США), хлоридов кальция (термальные рассолы Солтон-Си, США), бора и брома (солепромыслы и калийные предприятия ФРГ и Франции), поваренной соли (опреснение морских вод в Японии).

Таблица 13

Химический состав подземных вод и рассолов некоторых продуктивных водоносных комплексов (США, Японии)

Месторождение	Сумма солей, г/л	Содержание, мг/л								
		Cl	SO ₄	HCO ₃	Br	I	Na	K	Ca	Mg
США										
Бей-Сити (шт. Мичиган)	579,3	361 750	0,1	579,3	3400	5	4077	21 785	177700	8440
Лавенпорт (шт. Оклахома)	194,7	119855	132	122	Нет сведений		62724		9977	1926
Оклахома Сити (шт. Оклахома)	298,5	184 387	268	18	»	»	91 603		18753	3468
Гербер (шт. Оклахома)	224,9	139496	353	43	»	»	60733		21 453	2791
Япония										
Отаки (преф. Канто)	27,8	16200		832	132	81	10000		170	325
Хосокуса (преф. Канто)	29,2	17300		1144	61,1	99,7	9800	305	351	500
Фурусана (преф. Канто)	33,4	19 100		1490	70	126	11 690		169	464
Ябасе (преф. Акита)	25,6	14 139		3600	55	80	9742	531	106	84
Койя (преф. Акита)	26,9	16099		891	47	35	10 136	204	91	85
Кита-Ага (преф. Ниигата)	35,3	20590		925	136	71,4	11 840	600	683	265

В целом в сферу практического использования за рубежом включены практически все виды перечисленного выше гидроминерального сырья. Изучением и освоением месторождений природных вод и рассолов занимаются многочисленные компании. Продукция, получаемая из природных минерализованных вод и рассолов, в большом объеме поступает на внешний рынок.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УЧАСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

ПОНЯТИЕ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Представления о месторождениях глубоких подземных вод сформировались сравнительно недавно. Необходимость введения понятия «месторождение» связана с несколькими причинами. Пожалуй, главными из них следует считать вовлечение в разведку большого числа объектов минеральных, промышленных и теплоэнергетических вод и рост затрат на их разведку. Для обоснования постановки разведочных работ, их проектирования и оценки запасов подземных вод требовалось иметь такое понятие, в котором в сконцентрированном виде отражались бы геолого-гидрогеологические, народнохозяйственные, экономические и другие факторы. Именно термин «месторождение» концентрированно включает совокупность всех вышеназванных факторов. Использование этого понятия оказалось весьма удобной формой для решения методических и прикладных задач в области разведки, оценки эксплуатационных запасов подземных вод и их освоения.

Понятие о месторождении оказалось весьма полезным при региональных оценках прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных промышленных вод. При весьма широком региональном распространении этих вод число месторождений оказалось достаточно ограниченным, что особенно четко проявилось при мелкомасштабном картировании месторождений промышленных (в частности, йодобромных и редкометалльных) вод. В меньшей степени это замечание относится к минеральным водам вследствие исключительно малых водоотборов в пределах подавляющего большинства месторождений этих вод. Однако число месторождений с наиболее ценными типами углекислых минеральных вод также весьма ограничено.

Общей классификации месторождений глубоких подземных вод еще не существует, и, по всей видимости, в этом пока нет необходимости. Связано это с объективными и субъективными причинами. Наиболее важной из них, по-видимому, надо считать следующее. В нашей стране использование подземных вод любых типов осуществляется преимущественно по конкретному целевому назначению. Именно подразделение вод по их целевому использованию в народном хозяйстве служит основой для разработки их классификации и типизации. Хотя этот принцип подразделения вод в целом достаточно формален и иногда трудно, например, отделить минеральные воды от теплоэнергетических, тем не менее он является основным и это обстоятельство нельзя сбрасывать со счетов.

На основе принципа целевого использования вод базируются нормативные документы (инструкции, методические руководства и др.), осуществляются финансирование геологоразведочных работ, проектирование и строительство водозаборов и, в известной степени, планируются и осуществляются научно-методические исследования. В связи с этим ниже будут изложены основы классификации или типизации месторождений для промышленных подземных вод, основанные на материалах их разведки и эксплуатации.

В настоящее время предложены понятия для месторождений всех типов подземных вод — пресных, минеральных, промышленных и теплоэнергетических. Впервые понятие «месторождение» применительно к глубоким подземным водам было введено А. М. Овчинниковым для минеральных вод, являющихся наиболее интересными и длительно изучаемыми объектами в гидрогеологии. А. М. Овчинников под месторождением минеральных вод понимал пространственно оконтуриваемые скопления воды определенного состава в количествах, достаточных для экономически целесообразного их использования. Хотя это определение является недостаточно полным, но в нем уже присутствуют все основные элементы, необходимые для выделения месторождений подземных вод различных типов. По аналогии с месторождениями традиционных полезных ископаемых (твердые, нефть, газ) здесь предполагается, что месторождение подземных вод имеет некоторые границы. Заключенная внутри этих границ вода должна отвечать установленным кондициям, и использование воды должно быть экономически оправдано. В то же время в этом определении присутствует неопределенный термин «скопление», который не имеет ясной трактовки.

В современном представлении понятие «месторождение» несколько трансформировалось и стало более четким. В общем виде это понятие трактуется как пространственно ограниченная водонапорная система (или часть ее), в пределах которой распространены один или несколько водоносных комплексов, заключающих подземные воды, пригодные по своему качеству и количеству для экономически рентабельного использования в народном хозяйстве в тех или иных целях. Иначе говоря, внутри контура месторождения заключены (или могут быть выявлены) эксплуатационные запасы подземных вод,

предназначенные для одноцелевого или комплексного использования. Причем возможность выявления в пределах месторождения эксплуатационных запасов подземных вод определяется как природными особенностями месторождения, так и искусственными факторами (например, применение закачки на месторождениях промышленных подземных вод).

Участки месторождения, намечаемые для размещения проектных водозаборов, называются водозаборными или эксплуатационными участками. Таких участков на месторождении может быть один или несколько. Рассмотрим содержание основных элементов, входящих в понятие «месторождение».

Границы месторождений подземных вод определяются различными способами. Наиболее простой вариант, когда границы имеют геологический смысл. В качестве типичных примеров геологических границ следует назвать выклинивание или литолого-фациальное замещение водовмещающих пород, непроницаемые тектонические нарушения (экраны), выходы на поверхность водоупорных пород по всему контуру месторождения (или части его), резкое ухудшение фильтрационных свойств под влиянием эпигенетических преобразований и др. Геологические границы месторождений устанавливаются без особых затруднений.

Месторождения промышленных вод в пластовых водонапорных системах оконтуриваются наиболее часто с использованием экономических критериев. Целевой задачей выявления месторождений с геолого-экономических позиций является пространственное оконтурирование в плане и разрезе той части водонапорной системы, где добыча и использование подземных вод по заданному назначению экономически оправданы. Вещественным выражением экономических критериев является соответственно концентрация какого-либо (одного) компонента или температура (теплосодержание) воды. При многоцелевом использовании подземных вод граница имеет стоимостное выражение; для этого введен показатель, получивший название «ценность воды» (речь идет о стоимости полезной продукции, заключенной в единице объема или массы воды). Нижняя граница месторождения (в разрезе с большой мощностью осадочного чехла) имеет также экономическое содержание и выражается через предельную (по экономическим соображениям) глубину эксплуатационных скважин.

Качество подземных вод для использования их по заданному назначению устанавливается в соответствии с требованиями нормативных документов или потребителя. Оценка качества подземных вод является одной из главных задач изучения месторождений глубоких подземных вод. В соответствии с целевым назначением воды изучают ее физические свойства, общий химический состав, газовый состав, содержание микрокомпонентов. Для разных типов вод применяют соответствующие методики изучения качества. Детальность и достоверность определения показателей качества вод зависят от условий отбора водных проб, полноты и точности лабораторных исследований. Методы анализа природных вод и рассолов постоянно совершенствуются, и сейчас имеется принципиальная возможность определения в водах большинства элементов с высокой точностью. На практике же выполняют определения лишь нескольких элементов, что объясняется необеспеченностью производственных лабораторий аналитической техникой, а также субъективными причинами. Последние же связаны со следующими обстоятельствами. При разведке тех или иных месторождений решают прежде всего отраслевые задачи, и разведчики руководствуются при изучении качества вод действующими инструкциями и другими документами. С позиций требований этих документов ряд показателей качества, особенно в отношении элементов, присутствующих в микроколичествах, остается за пределами возможностей лабораторных методов.

Количество вод, имеющих внутри контура месторождения, столь же важный фактор, определяющий практическую ценность месторождения. Причем оценка количества воды представляет несомненно более сложную задачу, чем установление качества подземных вод. Она выполняется обычно по ограниченному объему информации, и здесь многое зависит как от сложности строения месторождения, так и от квалификации и интуиции исследователя. Количество вод на разведанных месторождениях выражается суммарной величиной эксплуатационных запасов, которые подсчитываются по отдельным водозаборным участкам. Мерой оценки количества воды на не изученных специальными гидрогеологическими разведочными работами месторождениях служат прогнозные ресурсы (Р), которые подсчитываются на основе единичных (зачастую косвенных) данных и общих соображений с использованием соответствующих методических приемов.

Способы оценки эксплуатационных запасов подземных промышленных вод рассматриваются в соответствующих разделах данной работы. Здесь же высказываются некоторые соображения о достоверности подсчета прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод в глубоких водоносных комплексах. Достоверность зависит от многих причин, но главным образом от точности определения гидрогеологических параметров и адекватности расчетных схем природным особенностям месторождения. Причем неточности как в определении параметров, так и в схематизации природных условий могут приводить к ошибкам в оценке величины запасов разных порядков.

На месторождениях с относительно простыми геолого-гидрогеологическими условиями более

существенное значение имеет степень точности определения гидрогеологических параметров, а на месторождениях со сложным строением на первое место выдвигается знание граничных условий, так как неправильная схематизация природных условий может приводить к принципиальным ошибкам как в сторону занижения, так и завышения запасов. Наиболее вероятны ошибки при оценке запасов месторождений в трещинно-жильных системах, где гидрогеологические прогнозы фактически вообще невозможны, и тем не менее на ранних этапах изучения таких месторождений к прогнозам все же приходится прибегать, поскольку требуется оценить примерные масштабы месторождения и обосновать целесообразность его вовлечения в разведку.

Месторождения глубоких вод имеют различные источники обеспечения эксплуатационных запасов. На месторождениях глубоких вод в пластовых водонапорных системах эксплуатационные запасы формируются преимущественно за счет упругой составляющей естественных (емкостных) запасов, образующихся в процессе геологического развития седиментационных бассейнов. Другие возможные источники формирования эксплуатационных запасов (перетекание из смежных горизонтов, отжатие воды из глин) пока оценивать не представляется возможным. На месторождениях в трещинно-жильных водонапорных системах или в очагах глубинной разгрузки в пластовых системах основным источником формирования эксплуатационных запасов служат естественные ресурсы, а роль естественных запасов, в том числе упругих, обычно невелика.

В случае обеспечения эксплуатационных запасов упругой составляющей естественных (геологических) запасов они могут рассматриваться как невозобновляемые, а при обеспечении их естественными ресурсами они постоянно возобновляются (если подсчет осуществлен в пределах величины естественных ресурсов). Однако сложившаяся в настоящее время практика учета эксплуатационных запасов не делает каких-либо различий, и во всех случаях запасы учитываются в единицах расхода ($\text{м}^3/\text{сут}$). Для эксплуатационных запасов с возобновляемыми источниками формирования создается иллюзия их неизменности за весь период эксплуатации, так как на последний год эксплуатации на балансе числится столько же запасов, сколько и на первый год. Фактически при эксплуатации идет непрерывное уменьшение запасов (в недрах), и в предельном случае (когда дебит водозабора равен величине утвержденных эксплуатационных запасов) при достижении в скважинах уровней, установленных кондициями, запасы должны быть практически полностью выработаны. Следовательно, эксплуатационные запасы при обеспечении их невозобновляемыми источниками питания целесообразно утверждать не только в единицах расхода, но и в объемных (массовых) единицах. В этом случае появляются возможности следить за движением запасов в процессе эксплуатации и иметь представление об остаточных запасах на любой год эксплуатации.

Таким образом, к настоящему времени сложились обоснованные и устоявшиеся представления о месторождениях глубоких подземных вод, способствующие успешному региональному изучению закономерностей их распространения, разведке и освоению. Вместе с тем некоторые вопросы требуют дальнейшей доработки, в том числе вопросы совершенствования системы государственного учета балансовых эксплуатационных запасов глубоких подземных вод.

Подземные промышленные воды служат минеральным сырьем для обеспечения производственных мощностей по их переработке. В связи с этим к месторождениям подземных вод предъявляются такие же требования, как и ко многим традиционным видам сырья: возможность создания предприятия с определенной мощностью в соответствии с потребностями народного хозяйства, обеспечение необходимого уровня рентабельности использования подземных вод и др. При использовании и оценке месторождений следует учитывать необходимость комплексной переработки сырья, решение вопросов сброса отработанных вод, обеспечение технической и питьевой водой, электроэнергией, рабочей силой, материалами и т. д. В то же время методы оценки эксплуатационных запасов промышленных вод отличаются от методов оценки запасов традиционных полезных ископаемых (минерального сырья), а методика, используемая для подсчета запасов, сходна с применяемой для оценки запасов пресных и других типов вод. Эти особенности и приходится учитывать при выявлении, оконтуривании и разведке месторождений подземных промышленных вод.

Величина эксплуатационных запасов определяется природными особенностями месторождений (граничные условия, гидрогеологические параметры) и техническими возможностями снижения уровня в эксплуатационных скважинах. Экономика же добычи и переработки вод частично зависит от природных факторов (глубины залегания продуктивных комплексов, содержания полезных компонентов, присутствия вредных примесей и др.), но главным образом от состояния техники и технологии добычи и переработки подземных промышленных вод. Затраты на добычу и переработку подземных промышленных вод пока достаточно велики. Это связано с отсутствием или

недостаточным количеством эффективных средств водоподъема и необходимостью использования водоподъемников, предназначенных для других целей (например, нефти, пресной воды и др.). Вследствие этого производительность отдельных скважин обычно небольшая, что, в свою очередь, приводит к увеличению числа эксплуатационных скважин, росту затрат на их обустройство, повышенному расходу электроэнергии.

Промышленные воды пока перерабатываются недостаточно комплексно (извлекаются один, в лучшем случае два-три элемента). Все это приводит к преуменьшению реальных возможностей месторождений и снижению эффекта от использования их запасов. Тем не менее приходится исходить из реального положения вещей и ориентироваться на те элементы, содержащиеся в подземных водах, которые извлекаются в промышленных масштабах и на которые установлены оптовые цены. Исходя из этих цен и расчетных затрат на добычу, очистку, транспортировку и переработку воды, определяют кондиционные показатели, в том числе «бортовое» содержание полезных компонентов, или границу месторождения. Вполне понятно, что комплексное использование вод месторождения приводит к снижению «бортового» содержания и как бы расширению размеров месторождения. В связи с внедрением метода отработки месторождений с применением обратной закачки отработанных вод в продуктивные водоносные комплексы используются иные критерии при обосновании кондиционных требований и установлении границ месторождений.

Таблица 14

Подразделение месторождений подземных вод на группы по степени сложности

Группа	Сложность природных условий				Целесообразность разведочных работ запасов категорий
	геологических	гидродинамических и фильтрационных	гидрохимических	гидрогеотермических	
Первая	Простые	Простые	Простые	Простые	А, В, С,
Вторая	Умеренно сложные	Сложные	Сложные или простые	»	А, В, С,
Третья	Сложные	Сложные и весьма сложные	Весьма сложные	Сложные и весьма сложные	В, С,

В общем случае под *месторождением подземных промышленных вод* следует понимать пространственно ограниченную в разрезе и по площади артезианского бассейна или его части зону, характеризующуюся распространением водоносных горизонтов или комплексов, заключающих воды с содержанием полезных компонентов выше минимальных для того или иного района промышленных концентраций. В этом понимании месторождения подземных промышленных вод могут охватывать крупные территории гидрогеологических районов (бассейнов). Вместе с тем возможность и целесообразность эксплуатации подземных промышленных вод определяются рядом других факторов: глубиной залегания промышленной водоносной зоны, расчетными гидрогеологическими параметрами водовмещающих пород, дебитами и удельными дебитами скважин, общими запасами промышленных вод и, следовательно, уровнем производства из этих вод полезной продукции и т. д. Рентабельная добыча и переработка подземных вод могут осуществляться на отдельных участках месторождений, выбор которых производится с учетом геолого-структурных и гидрогеологических условий на основе гидродинамических и технико-экономических расчетов. В ряде случаев оправдано применение понятия «месторождение» к таким обособленным участкам подземных промышленных вод.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Для решения практических задач при разведке и освоении месторождений подземных вод их подразделяют на три группы по степени сложности (табл. 14). Степень сложности в данном случае определяется геолого-гидрогеологическими, т. е. природными, особенностями месторождения, но при этом учитываются и экономические факторы, в частности затраты на проведение разведочных работ и исследований.

Сложность геологических условий месторождений определяется прежде всего тектоническими факторами, а также литолого-фациальной неоднородностью как продуктивных водоносных комплексов, так и примыкающих к ним водоупорных пород. Сложность фильтрационных условий

связана в основном с неоднородностью водовмещающих пород. С известной долей условности водовмещающие породы-коллекторы целесообразно подразделять на три группы: условно однородные водоносные горизонты (удельные дебиты скважин различаются не более чем в 5 раз); неоднородные горизонты (удельные дебиты различаются в 5 — 10 раз); весьма неоднородные горизонты (удельные дебиты различаются более чем в 10 раз).

Степень сложности гидрогеохимических и гидрогеотермических условий определяет надежность прогнозирования качества вод в процессе эксплуатации. По характеру гидрогеохимических и гидрогеотермических условий месторождения глубоких подземных вод подразделяются на:

простые, когда источники изменения качества воды отсутствуют; температурные условия относительно однородны; границы вод некондиционного состава удалены на большое расстояние от эксплуатационных участков; указанные границы проходят вблизи участка эксплуатации, но имеют простую конфигурацию, а водоносный горизонт представлен условно однородными породами. В этих условиях возможные изменения минерализации, химического состава и температуры воды в процессе эксплуатации устанавливаются расчетным путем, в том числе и при эксплуатации с поддержанием пластового давления;

сложные, когда границы зон с различным качеством подземных вод имеют сложную конфигурацию в плане и разрезе; водоносные горизонты в фильтрационном отношении неоднородны; температурные условия также относительно неоднородны; перекрываются или подстилаются водоносными пластами, содержащими воды некондиционного качества, причем в процессе эксплуатации возможно вертикальное перетекание. В этих условиях при однородности разделяющих водоупоров возможные изменения качества вод устанавливаются расчетным путем, в том числе с применением методов моделирования. В расчеты необходимо вводить большой запас надежности;

весьма сложные, когда границы зон с различным качеством воды имеют сложную конфигурацию в плане и разрезе; температурные условия весьма неоднородны; водоносные комп-лексы (горизонты) или зоны приурочены к неравномерно-трещиноватым или закарстованным породам; водоупоры неоднородны, имеют гидравлические «окна», по которым возможно поступление некондиционных вод из смежных горизонтов или водоносных зон. Сложное взаимоотношение вод различного состава и (или) разной температуры может быть легко нарушено, особенно при отборе в объемах, превышающих естественные ресурсы этих зон. Возможные изменения качества воды оцениваются приблизительно на основе анализа общей гидрогеологической обстановки, по опыту эксплуатации аналогичных месторождений и на основе интерпретации данных длительных групповых опытно-эксплуатационных выпусков (откачек). В обобщенном виде степень сложности месторождений находит выражение в категориях запасов и требованиях к их соотношению для подготовленности месторождения к промышленному освоению. Так, например, на месторождениях наиболее сложной третьей группы выявление запасов категории А экономически не оправдано, так как для этого требуются либо слишком большие затраты, либо выявление запасов этой категории вообще невозможно.

Месторождения промышленных вод по геолого-гидрогеологическим условиям и особенностям методики разведки с учетом определяемой классификацией группы сложности принято подразделять на несколько типов: месторождения пластового типа в крупных артезианских бассейнах платформ и плит; месторождения пластового типа в артезианских бассейнах межгорных и предгорных впадин; месторождения трещинно-жильного типа горно-складчатых областей и районов современного вулканизма; месторождения в озерных понижениях.

Месторождения первого типа находятся внутри крупных артезианских бассейнов древних платформ и эпипалеозойских плит. Осадочные чехлы платформ и плит, с которыми связаны продуктивные водоносные комплексы, имеют возраст пород от протерозоя до кайнозоя, различную мощность, обычно спокойное залегание. Месторождения этого типа, как правило, многопластовые, имеют большие размеры в плане, характеризуются выдержанностью по площади фильтрационных свойств и гидрогеохимических показателей, значительной величиной эксплуатационных запасов. По содержанию полезных компонентов наиболее часто они относятся к однокомпонентным (например, йодные или бромные), но содержат полезные компоненты, которые могут извлекаться попутно. Источниками формирования эксплуатационных запасов служат в основном упругие запасы продуктивных горизонтов, в связи с чем при эксплуатации образуются значительные по площади и глубине депрессионные воронки. По характеру коллекторов продуктивные водоносные комплексы подразделяются на поровые, порово-трещинные, трещинные и трещинно-карстовые. Наибольший практический интерес представляют горизонты с поровыми и порово-трещинными коллекторами, но в последнее время начали вовлекаться в эксплуатацию и карбонатные водоносные комплексы с

трещинными и трещинно-карстовыми коллекторами.

Эксплуатационные участки на платформенных месторождениях выбирают в основном по технико-экономическим показателям эксплуатации с учетом условий сброса отработанных вод. Типичными месторождениями рассмотренного типа являются месторождения на Русской платформе и Западно-Сибирской плите.

Месторождения второго типа отличаются сложной геолого-тектонической и гидрогеологической обстановкой. Продуктивные водоносные горизонты расчленены тектоническими нарушениями на серию блоков; фильтрационные свойства пород и гидрогеохимические показатели воды могут существенно изменяться как в отдельных блоках, так и от блока к блоку. Месторождения этого типа приурочены к ограниченным в плане пластам или крутым антиклинальным складкам. В последнем случае глубина залегания продуктивных горизонтов изменяется от первых сотен метров в ядрах складок до 2000 — 3000 м на их крыльях. Эксплуатационные запасы промышленных вод месторождений второго типа значительны, а состав вод позволяет извлекать два и более полезных компонентов.

Источниками формирования эксплуатационных запасов служат упругие запасы продуктивных горизонтов, перетекание из смежных горизонтов, отжатие воды из глин, инверсия разгрузки глубоких вод, осушение пластов в краевых или приподнятых частях продуктивных горизонтов. Водовмещающие породы представлены мощными песчано-глинистыми толщами с коллекторами перового типа. Вследствие слабой уплотненности пород при опробовании и эксплуатации скважин часто наблюдается пескование. Для месторождений второго типа характерны также высокие температуры и избыточные напоры, большая газонасыщенность пластовых вод, вплоть до присутствия газовых шапок. Эти обстоятельства осложняют проведение опытно-фильтрационных работ и определение гидрогеологических параметров по данным опытных работ.

Положение эксплуатационных участков и конструкции водозаборов на месторождениях второго типа определяются прежде всего геолого-структурной обстановкой (глубиной залегания продуктивных горизонтов), а также фильтрационными и гидрогеохимическими особенностями. Ко второму типу относятся эксплуатируемые и разведанные месторождения промышленных вод в Туркмении и Азербайджане. Эксплуатация этих месторождений обеспечивает производство почти всего йода и большей части брома в стране.

Месторождения трещинно-жильного типа горно-складчатых областей и районов современного вулканизма пока не эксплуатируются в качестве промышленных. Они более известны как месторождения минеральных или теплоэнергетических вод, но в определенных условиях воды этих месторождений могут представлять интерес для извлечения таких полезных компонентов, как бор, литий, мышьяк и др. В геологическом отношении месторождения приурочены к комплексам интрузивных, метаморфических, вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, отличающихся очень низкими фильтрационными и емкостными свойствами. Обводненность пород связана с зонами тектонических нарушений и особенно с узлами пересечения нарушений различного направления. Для месторождений этого типа характерны исключительная фильтрационная неоднородность и неустойчивость гидрогеохимических показателей как в естественных, так и в нарушенных условиях.

Источники формирования эксплуатационных запасов, как правило, по данным разведочных работ установить не представляется возможным. Оценка запасов производится в пределах величины естественных ресурсов по данным продолжительных групповых выпусков. Методика разведки месторождений трещинно-жильного типа пока разработана слабо.

Месторождения четвертого типа связаны с современными озерными понижениями или эвапоритовыми бассейнами, заполненными рапой различного состава. Наиболее известным месторождением этого типа является оз. Сёрлз, шт. Калифорния (США), на базе подземных рассолов которого созданы крупные предприятия по переработке рассолов.

В СССР известны два подтипа месторождений, связанных с озерными понижениями. К первому подтипу относятся месторождения в современных эвапоритовых бассейнах, в разрезе которых имеется несколько горизонтов (до 3) сильнопористых солей (гали-та, астраханита и др.), разделенных прослоями илов или мелкозернистых песков. Пористые соли имеют исключительно высокие фильтрационные свойства и заключают рассолы, обычно отличающиеся по своему составу от поверхностной озерной рапы. Подземные рассолы обладают небольшим напором и гидравлически связаны с озерной рапой. Эксплуатация рассолов осуществляется обычно при установившемся режиме. Сложность представляет прогноз качества рассолов. Эксплуатационные запасы обеспечиваются в основном естественными запасами, но промышленные рассолы дополнительно могут формироваться за счет растворения вмещающих солей при эксплуатации. Типичное

месторождение этого подтипа — котловина залива Кара-Богаз-Гол.

Месторождения второго подтипа связаны с терригенными пластами в разрезе донных отложений озер континентального происхождения. Гидродинамическая и гидрохимическая обстановка сложная и трудно поддается прогнозированию при эксплуатации. Прямой гидравлической связи с озерной рапой обычно не существует или она весьма слабая, но имеется связь с грунтовыми водами в береговых отложениях. Эксплуатационные запасы, как правило, небольшие и формируются за счет естественных запасов. Месторождения этого подтипа встречаются в пределах озерных впадин на юге Западной Сибири (оз. Малиновое и др.).

Рассмотренная типизация отражает в основном геолого-гидрогеологические особенности месторождений, определяющие, в свою очередь, особенности методики их разведки и условия эксплуатации. Однако для комплексной переработки гидроминерального сырья важное значение имеют технологические свойства подземных вод, которые определяют наиболее целесообразные технологические схемы их переработки. Технологические свойства должны изучаться и типизироваться применительно к некоторым типовым технологическим способам переработки подземных вод. Поскольку технологические исследования не вышли из стадии лабораторных испытаний, типизация подземных промышленных вод по технологическим свойствам преждевременна и является одной из задач будущего изучения гидроминерального сырья.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УЧАСТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ВОДОЗАБОРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Месторождения подземных промышленных вод в принятом понимании могут охватывать территорию почти всего или части (иногда сравнительно небольшой) гидрогеологического района. Вместе с тем возможность и целесообразность эксплуатации подземных промышленных вод, как отмечалось выше, определяются не только содержанием в них полезных компонентов, но также рядом других факторов: глубиной залегания промышленной водоносной зоны, гидрогеологическими параметрами пород, общими запасами промышленных вод и, следовательно, уровнем производства полезной продукции, социально-экономическими условиями строительства промышленного предприятия и т. д. Рентабельные добыча и переработка подземных вод могут осуществляться на отдельных участках месторождений, выбор которых производится с учетом геолого-структурных и гидрогеологических условий на основе гидродинамических и технико-экономических расчетов.

Участки месторождений, на которых по совокупности выявленных гидрогеологических и геолого-экономических показателей целесообразны эксплуатация и использование подземных промышленных вод для извлечения полезной продукции, названы эксплуатационными участками месторождений. Наряду с этим в районах, где бурение и специальные гидрогеологические исследования не проводились, но по общим соображениям и экстраполяции имеющихся данных возможна экономически эффективная эксплуатация подземных промышленных вод, выделяются перспективные участки для проведения геологоразведочных работ.

При выделении эксплуатационных и перспективных участков возможны два крайних случая. В условиях спокойного, регионально выдержанного распространения водоносных пород водозаборы подземных промышленных вод располагают с учетом общих гидрогеологических условий и их возможного взаимодействия в расчете на максимальную производительность. Разведочные скважины в этом случае размещают применительно к схеме будущего водозабора с целью равномерного освещения геологического строения и гидрогеологических условий участка. Дальнейшая оценка эксплуатационных запасов подземных промышленных вод по результатам гидрогеологических исследований может осуществляться с использованием средневзвешенных по площади участка расчетных гидрогеологических параметров. Подобные условия характерны для древних платформенных областей СССР — Русской и Сибирской платформ, а также для Западно-Сибирской эпипалеозойской плиты.

В пределах альпийской зоны складчатости, а также в ряде районов Скифской и Туранской плит эксплуатационные и перспективные участки располагаются в пределах резко выраженных антиклинальных структур, обычно разбитых серией продольных и поперечных тектонических нарушений. В пределах отдельных тектонических блоков одноименные водоносные горизонты и комплексы могут не иметь заметной гидравлической связи друг с другом, т. е. тектонические нарушения могут быть гидравлическими экранами или естественными путями, связывающими подземные воды разных водоносных комплексов. В пределах разных блоков в этих условиях горизонты промышленных вод

будут проявлять себя по-разному в отношении дебитов скважин, пластовых давлений (пьезометрических напоров), режима в естественных условиях и при последующей эксплуатации. Различные свойства одних и тех же горизонтов могут быть обусловлены не только наличием тектонических нарушений (т. е. граничными условиями), но и резкой сменой фильтрационных свойств пород, разной степенью насыщенности подземных вод растворимыми газами, наличием газовой шапки и т. д. В таких сложных условиях сумму гидрогеологических показателей, полученных для отдельных частей разведываемой площади, нельзя распространить на весь перспективный участок; для каждой обособленной части участка в этом случае требуется проведение полного комплекса исследований.

Схематизация условий разработки месторождений при подсчете эксплуатационных запасов подземных промышленных вод заключается в том, что скважины расчетного водозабора должны располагаться в виде удобных для выполнения гидродинамических расчетов правильных геометрических систем. Например, в виде одного или нескольких параллельных рядов (в частном случае — прямоугольная сетка) скважин; двух линейных рядов скважин, образующих между собой некоторый угол (в частном случае — прямой); одной кольцевой батареи скважин или нескольких колец: вых батарей; равномерной треугольной сети скважин, которая может быть приведена к системе кольцевых концентрических батарей, и т. д.

Однако размещение эксплуатационных скважин на месторождениях промышленных подземных вод обычно соответствует схемам любого геометрически неправильного их расположения. Это определяется изменением параметров водоносных отложений (мощность, коэффициент фильтрации, водопроницаемость и пьезопроводность), амплитудой изменения этих параметров на площади эксплуатационного участка и месторождения в целом.

Размеры эксплуатационного участка (и, следовательно, площади проектного водозабора) определяются по геолого-тектоническому строению и гидрогеологическим условиям. При сравнительно однородном строении и фильтрационных свойствах водоносных отложений и их спокойном залегании в пределах (и за пределами) эксплуатационного участка размеры площади водозабора зависят главным образом от параметров промышленной водоносной зоны, в свою очередь, определяющих дебит отдельных скважин (с учетом их взаимодействия), рациональную схему их расположения и число скважин. Показатели эксплуатации устанавливаются в этом случае путем последовательных вариантных гидродинамических расчетов, сопровождаемых геолого-экономическим анализом, который направлен на выбор наиболее экономически эффективной системы разработки, обеспечивающей добычу максимального количества промышленных вод при сохранении их себестоимости на уровне допустимой цены.

Если эксплуатационный участок расположен в пределах антиклинальной структуры с крутопадающими крыльями, то площадь эксплуатационного участка дополнительно определяется допустимой по экономическим соображениям глубиной бурения скважин. Именно такими соображениями ограничиваются размеры водозаборов промышленных вод, располагаемых в пределах брахиантиклинальных структур в западной части Туркменской и в Азербайджанской ССР.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

СПОСОБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКИХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Геолого-экономические показатели эксплуатации определяются гидрогеологическими условиями месторождений подземных промышленных вод и техническими условиями их разработки. Эти показатели во многом влияют на кондиционные требования к месторождениям, их размеры и общее количество эксплуатационных запасов промышленных подземных вод. Для иллюстрации такого влияния ниже приводятся некоторые обобщенные сведения, характеризующие условия эксплуатации водозаборов промышленных вод в районах разработки их месторождений.

Рентабельность добычи из подземных вод различных компонентов определяется комплексом факторов. При этом свойства подземных вод (состав, температура, концентрация полезных компонентов и др.) влияют на технологические затраты, связанные с обработкой воды в ходе производственного процесса, а гидрогеологические и технические факторы (глубина залегания подземных вод, параметры водоносных пород, дебиты скважин и понижения уровня в них в процессе эксплуатации, способ эксплуатации и др.) — на стоимость добычи подаваемой на предприятие воды, т. е. исходного гидроминерального сырья.

В настоящее время добыча подземных промышленных вод и рассолов осуществляется несколькими

способами: 1) фонтанным; 2) эрлифтным; 3) с использованием глубинных штанговых насосов; 4) с использованием погружных электронасосов. Применение погружных электронасосов находится пока в стадии внедрения (подобные насосные установки широко используются в практике добычи нефти и попутных вод нефтяных месторождений в СССР и за рубежом).

Наиболее экономически эффективной является фонтанная эксплуатация, не требующая затрат энергии и средств на подъем воды из скважины. Этот способ может применяться на участках месторождений, характеризующихся большими начальными избыточными давлениями, обеспечивающими самоизлив воды из скважины в течение длительного периода. Однако разработка месторождений фонтанным способом приводит лишь к частичной сработке эксплуатационных запасов. Практический опыт показывает, что для большинства месторождений СССР промышленное производство редких элементов на базе фонтанной эксплуатации оказывается маловероятным, а с точки зрения полноты использования эксплуатационных запасов — нецелесообразным. Фонтанная эксплуатация возможна обычно в первый период разработки месторождений; во многих районах такая эксплуатация исключается совсем, так как начальные статические уровни промышленных вод располагаются ниже поверхности земли.

Принимая во внимание понятие «эксплуатационные запасы», при оценке их величины в подавляющем большинстве случаев возможно рассчитывать лишь на принудительную эксплуатацию со значительными понижениями динамических уровней промышленных вод от поверхности, т. е. на использование водоподъемных устройств.

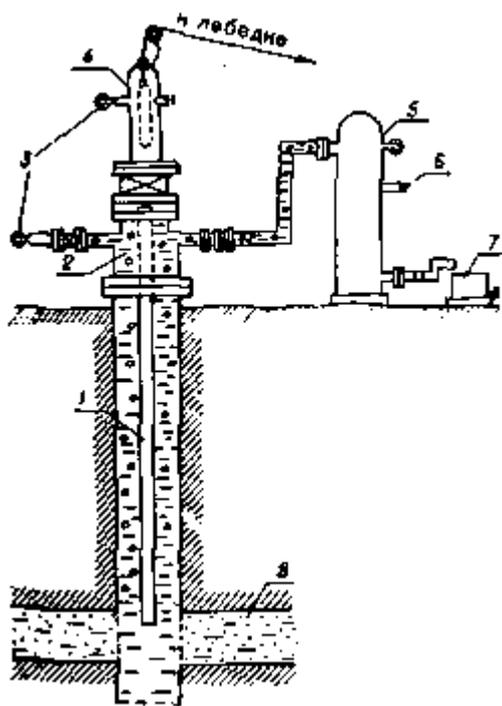


Рис. 2. Схема оборудования фонтанирующей эксплуатационной скважины:

1 — насосно-компрессорные трубы, 2 — Фонтанная арматура; 3 — манометры; 4 — Уорикатор; 5 — трап-газоотделитель; 6 — измеритель дебита газа; 7 — мерная емкость для воды; 8 — водоносный горизонт

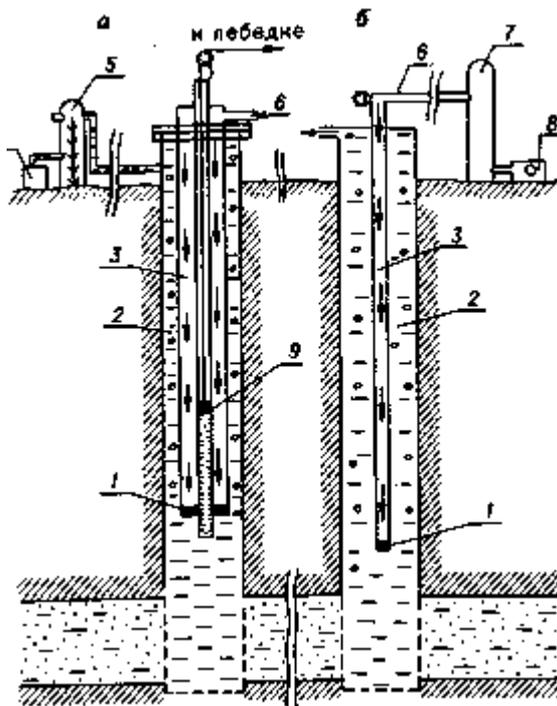


Рис. 3. Схемы оборудования скважин для компрессорной эксплуатации:

а — двухрядный эрлифт; б — однорядный эрлифт; 1 — смеситель пластовой воды и воздуха; 2 — газоводяная эмульсия; 3 — сжатый воздух; 4 - мерная емкость для воды; 5 — газодельитель; 6 — подача сжатого воздуха от компрессора; 7 — ресивер; 8 — компрессор; 9 — приспособление для измерения уровня воды в работающей скважине

При этом в связи с особенностями режима глубоких подземный вод при эксплуатации, обусловленными упругими свойствами пластовых водонапорных систем, в процессе разработки месторождений при постоянстве суммарного дебита водозаборов происходит неуклонное, замедляющееся во времени снижение динамических уровней. Это обстоятельство заставляет при выборе насосного оборудования ориентироваться на предельное понижение уровня в скважинах к

концу срока эксплуатации или предусматривать поэтапную смену типа насосов в процессе разработки месторождений.

При фонтанной эксплуатации скважины оборудуются фонтанной арматурой и насосно-компрессорными трубами. Фонтанная арматура предназначена для обвязки отсадных колонн труб, подвески насосно-компрессорных труб, регулирования работы скважин размещения контрольно-измерительных приборов. В верхней части трубной головки монтируют лубрикатор, представляющий собой устройство для спуска и подъема глубинных приборов (манометров, пробоотборников, термометров) без остановки работающих скважин. Трап-газоотделитель предназначен для разделения жидкой и газообразной фаз и измерения дебита воды и газа. Насосно-компрессорные трубы спускают в скважину с таким расчетом, чтобы их нижняя часть находилась ниже уровня начала выделения из воды газа в свободное состояние. Так как движение воды в насосно-компрессорных трубах не происходит, замеряемое на их оголовке давление отвечает истинному избыточному давлению. В ряде случаев для скважин, фонтанирующих за счет действия газлифта и термолифта, насосно-компрессорные трубы используют для измерения в них глубины динамического уровня (рис. 2).

При насосно-компрессорной эксплуатации в качестве водоподъемников используются эрлифты, позволяющие получить в процессе откачек большие дебиты скважин при значительных понижениях динамических уровней. В практике применяют одно- и двухрядные эрлифты. Однорядный эрлифт предполагает подачу сжатого воздуха в насосно-компрессорные трубы и подъем газовой эмульсии по кольцевому зазору между этими трубами и обсадной колонной. Подобный способ эксплуатации не позволяет производить непосредственные измерения динамического уровня и допускает лишь приближенный расчет его положения по давлению сжатого воздуха на оголовке скважины. Кроме того, при эксплуатации водоносных горизонтов, представленных песками или слабосцементированными песчаниками, вследствие выноса песка возможны истирание (и разгерметизация) колонны обсадных труб и выход из строя эксплуатационных скважин. Поэтому двухрядный эрлифт предпочтительней (рис. 3).

Плунжерные штанговые насосы широко применяют для эксплуатации промышленных йодобромных вод при малых (до 500 м³/сут) дебитах скважин и их сильном песковании. Привод глубинных плунжерных насосов осуществляется редукторными станками-качалками обычно отечественного производства. Использование штанговых насосов экономически нецелесообразно при высокой водообильности продуктивных отложений и возможности эксплуатации водозаборов с большими (700 — 2000 м³/сут) дебитами скважин.

Наиболее прогрессивным и экономичным является использование погружных центробежных износоустойчивых электронасосов типа ЭЦНВ и ЭЦНИ. В настоящее время отечественной промышленностью уже освоено производство таких насосов с подачей 350, 500 и 700 м³/сут и рабочим напором соответственно до 500 и 450 м. Однако для разработки наиболее перспективных и крупных месторождений промышленных подземных вод предельные подачи таких насосных установок должны быть увеличены до 1000 — 2000 м³/сут при понижениях уровня в скважинах от 750 до 1000 м от поверхности.

На разрабатываемых месторождениях промышленных вод в той или иной мере используются все перечисленные способы эксплуатации скважин. Выбор преимущественного, наиболее эффективного применительно к условиям конкретного участка месторождения способа производится с учетом глубины и производительности скважин, их технической конструкции, глубин динамического уровня от поверхности.

НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОДЫ

Бурение и опытное гидрогеологическое опробование скважин при поисках и разведке являются основными способами изучения подземных промышленных вод и продуктивных водовмещающих пород. Все остальные методы исследований опираются на результаты бурения, и возможности их использования могут быть проверены и подтверждены только бурением. В связи с исключительным значением бурения, а также с учетом его высокой стоимости каждая скважина должна отвечать требованиям, которые определяют задачами геологоразведочных работ на различных стадиях гидрогеологических исследований. В общем случае бурение и опытное опробование скважин позволяют осуществлять:

стратиграфическое расчленение вскрываемых отложений;

выделение в разрезе литолого-стратиграфических комплексов пород и определение их мощности;

выявление водоносных комплексов (горизонтов и пластов) и определение их мощности;
определение положения в разрезе и мощности водоупорных или слабопроницаемых отложений;
установление наличия или отсутствия гидравлической связи подземных вод промышленной водоносной зоны с выше- и нижезалегающими водоносными горизонтами;

Таблица 15

Категории глубоких гидрогеологических скважин на подземные промышленные воды

Категория скважин	Основное назначение бурения	Решаемые задачи	Методы исследований
Поисковая	Изучение гидрогеологических условий месторождения и получение предварительных данных для перспективных участков. Выделение в разрезе комплексов (горизонтов), перспективных для практического использования промышленных вод, по химическому составу вод и водообильности водо-вмещающих пород. Предварительное определение гидрогеологических параметров промышленной водоносной зоны	Оценка условий распространения и залегания подземных промышленных вод месторождения и его общая гидрогеологическая характеристика. Выбор участков месторождения и водоносных комплексов для постановки разведочных работ	В процессе бурения — механический каротаж, исследование промывочной жидкости, шлама, керна, наблюдения за водо-, газо- и нефтепроявлениями; электрический, радиоактивный и термометрический каротаж; измерение фактического диаметра и кривизны скважин. Проведение пробных и опытных откачек, сопровождаемых анализами воды и газа, измерениями дебитов, статических и динамических уровней (пластовых и забойных давлений), газового фактора.
Разведочная	Определение расчетных гидрогеологических параметров промышленной водоносной зоны на эксплуатационном участке. Изучение состава и качества промышленных подземных вод. Уточнение граничных условий месторождения	Геологическая и гидрогеологическая характеристика эксплуатационного участка месторождения. Оценка эксплуатационных запасов гидроминерального сырья по промышленным категориям	Характер наблюдений и исследований такой же, как при поисковом бурении; основное внимание уделяется изучению промышленной водоносной зоны; применяются наиболее рациональные и эффективные методы промысловой геофизики. Проводятся, как правило, длительные опытные и опытно-эксплуатационные откачки, сопровождающиеся комплексом гидродинамических исследований.
Разведочно-эксплуатационная	Определение (или уточнение) расчетных гидрогеологических параметров промышленной водоносной зоны на эксплуатационном участке месторождения и других гидрогеологических показателей, полученных ранее	Уточнение геологической и гидрогеологической характеристики эксплуатационного участка месторождения, приращение или подтверждение эксплуатационных запасов гидроминерального сырья по высоким категориям изученности	Проведение длительных опытно-эксплуатационных откачек, сопровождающихся комплексом гидрогеологических, гидрогеохимических и гидродинамических исследований
Эксплуатационная	Эксплуатация подземных промышленных вод на разрабатываемом участке месторождения	Добыча гидроминерального сырья	Проведение длительных опытно-эксплуатационных и непрерывных эксплуатаций

определение положения статических уровней, величин пьезометрических напоров подземных вод и пластовых давлений различных водоносных горизонтов;
изучение физико-химических свойств, минерализации, химического и газового состава подземных промышленных вод и содержания в них рассеянных элементов, редких металлов и солей;
оценку водообильности водоносных комплексов горизонтов и пластов;
определение основных расчетных гидрогеологических параметров: коэффициентов фильтрации,

водопроницаемости, пьезопроводности;

изучение минерально-петрографического состава и физико-механических свойств горных пород.

Исходя из различия геологических и гидрогеологических задач, решаемых на разных стадиях геологоразведочных работ, намечается несколько категорий скважин, различающихся по назначению, объему и методике исследований. При этом задачи разных стадий геологоразведочных работ определяют не только объем и методы гидрогеологических исследований, но также глубину и конструкцию скважин, способ бурения, порядок и методику опробования водоносных горизонтов. В соответствии с последовательностью проведения геологоразведочных работ и характером задач, решаемых на каждой стадии исследований, выделяются следующие основные категории глубоких гидрогеологических скважин: 1) поисковые; 2) разведочные; 3) разведочно-эксплуатационные; 4) эксплуатационные. Назначение и задачи каждой категории скважин изложены в табл. 15.

В процессе бурения и опробования некоторых скважин может возникнуть необходимость изменения их назначения и решаемых задач. В связи с этим возможны случаи перевода скважин из одной категории в другую, например, поисковой скважины в разведочную, разведочной — в эксплуатационную. Возможны также случаи перевода разведочных скважин в категорию поисковых после окончания их бурения и опробования для последующего изучения еще не вскрытых предыдущим поисковым бурением отложений. Такой перевод скважин из одной категории в другую должен сопровождаться соответствующим изменением объема гидрогеологических исследований и возможен тогда, когда это допускается соответствием технической конструкции скважин.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОБЫЧИ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Анализ экономических показателей йодобромного производства важен с точки зрения оценки стоимости добычи воды в общей себестоимости конечной продукции. Вместе с тем такой анализ дает возможность прогнозировать целесообразность вовлечения в промышленную эксплуатацию также и редкометалльных вод.

Основная масса производных йода и брома, выпускаемых заводами страны, удовлетворяет требованиям химической и фармацевтической промышленности. Качество металлического йода, технического брома и других продуктов, изготавливаемых в соответствии с действующими общесоюзными стандартами, по основным показателям не уступает лучшим зарубежным образцам. Однако отпускные цены, установленные на все отечественные соединения йода и брома, не полностью учитывают возможности минерально-сырьевой базы йодобромного производства. Относительно высокая себестоимость йода и брома объясняется рядом факторов, главными из которых являются, во-первых, необходимость внедрения современных технологических процессов переработки подземных вод, и во-вторых, улучшение системы эксплуатации минерально-сырьевых баз действующих предприятий. Последняя, наиболее важная причина обуславливает высокий уровень затрат на добычу глубоких подземных вод из скважин; эти затраты составляют значительный удельный вес (50 — 60%) в себестоимости продукции. Уместно отметить, что экономическая эффективность использования подземных промышленных вод существенно возрастет в случае дополнительного извлечения содержащихся в них Sr, В, Li и др.

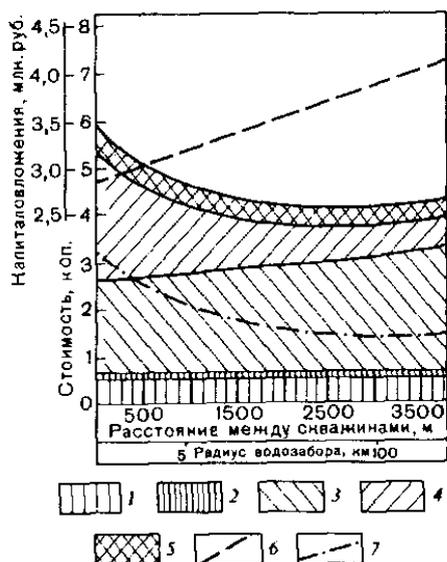


Рис. 4. Примерная структура себестоимости 1 м³ промышленных вод (Западная Сибирь):

1 — перекачка воды на предприятие; 2 — зарплата обслуживающего персонала; 3 — отчисления от капитальных вложений в сырьевую базу; 4 — затраты на подъем воды из скважин; 5 — прочие затраты; 6 — размеры капитальных вложений в сырьевую базу; 7 — стоимость водоподъема, отнесенная к 1 м³ воды

В табл. 16 показана структура себестоимости буровой воды. Приведенные данные свидетельствуют о том, что основные затраты связаны с бурением скважин и их эксплуатацией. Примерная структура себестоимости подземных вод наглядно иллюстрируется рис.4. В частности, этот рисунок показывает зависимость капиталовложений и эксплуатационных затрат от размеров водозабора: первые растут при увеличении расстояния между скважинами за счет увеличения протяженности трубопроводов, числа станций перекачки и т. д.; эксплуатационные затраты на добычу воды несколько снижаются вследствие уменьшения понижений динамических уровней в скважинах при сохранении суммарных водоотборов.

Подземные промышленные йодобромные и редкометалльные (содержащие цезий, рубидий, стронций) воды характеризуются сходными условиями залегания и распространения и, как было отмечено выше, часто представляют собой комплексное гидроминеральное сырье с разным сочетанием полезных компонентов. Допустимая стоимость промышленных вод при соблюдении условий рентабельности производства может быть рассчитана с учетом гидрогеологических условий месторождений и концентраций в промышленных водах полезных компонентов. Для примера влияние стоимости добычи воды на величины минимальных промышленных концентраций полезных компонентов с учетом их числа определено для двух месторождений: 1) при наличии одного компонента (йода) за основу приняты данные, полученные в процессе геологоразведочных работ в Западной Сибири (рис. 5); 2) при наличии двух компонентов (йода и брома) за основу приняты результаты эксплуатации промышленных вод в Западной Туркмении (рис. 6). В табл. 17 приводятся минимальные расчетные промышленные концентрации йода и брома в подземных водах Западной Туркмении в зависимости от стоимости добычи воды при эксплуатации водозаборов. Случай нулевой стоимости воды отвечает условиям использования попутных вод нефтяных месторождений, когда себестоимость продукции определяется главным образом издержками технологического процесса. При наличии технико-экономических показателей извлечения могут быть определены минимальные промышленные концентрации и других полезных компонентов. Учитывая отсутствие таких показателей, в табл. 18 оценивается возможная стоимость извлечения редких металлов при заданной цене на воду и концентрации полезных компонентов.

Таблица 16
Структура себестоимости 1 000 м³ буровой воды

затрат	Азербайджанская ССР		Пермское Приуралье		Туркменская ССР	
	Сумма, руб.	Удельный вес затрат, %	Сумма, руб.	Удельный вес затрат, %	Сумма, руб.	Удельный вес затрат, %
Амортизация	124,3	61,5	101,8	35,4	66,7	52,3
Энергия	31,5	15,6	149,7	52,2	40,7	32,0
Зарплата	37,2	18,4	8,8	3,1	16,8	13,3
Прочие расходы	2,0	4,5	26,7	9,3	9,1	2,4
Итого	202,0	100,0	287,0	100,0	133,3	100,0

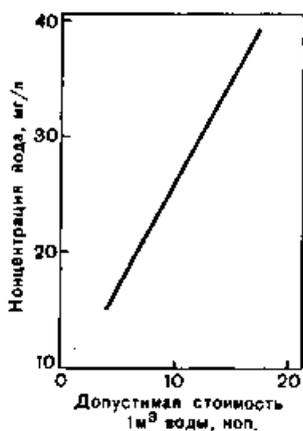


Рис. 6. Допустимая стоимость 1 м³ промышленных вод в зависимости от концентраций в них йода и брома (Западная Туркмения)



Рис. 5. Допустимая стоимость 1 м³ промышленных подземных вод в зависимости от концентраций в них йода (Западная Сибирь)

При оценке возможного уровня технологических затрат сделаны существенные допущения, а именно: 1) стоимость минерально-сырьевой воды принята равной 20 коп. за 1 м³ (что примерно соответствует средней стоимости воды на предприятиях йодобром-ной промышленности); 2) принятые отпускные цены на конечную продукцию учитывают стоимость чистых металлов, получение которых в условиях заводского производства затруднительно и, вероятно, нецелесообразно. Тем не менее приведенные данные дают приближенное представление о возможности рентабельного извлечения из подземных вод редких металлов. Рентабельность производства продукции будет существенно возрастать при извлечении комплекса рассеянных и редких металлов.

В целом анализ структуры себестоимости добываемых промышленных вод показывает, что большая часть затрат средств при эксплуатации месторождений гидроминерального сырья связана с амортизацией основных фондов (т. е. капиталовложений) и энергетическими затратами на добычу подземных вод. Первая статья затрат определяется числом эксплуатационных скважин, вторая — условиями разработки месторождений и глубиной динамического уровня подземных вод в скважинах. В связи с увеличением числа скважин в процессе эксплуатации промыслов и сработкой динамических уровней обе статьи затрат неизбежно возрастают во времени, что приводит к увеличению стоимости добываемых на поверхность промышленных подземных вод и в конечном счете к росту себестоимости продукции. Это обстоятельство должно учитываться при проектировании и оценке экономической эффективности разработки месторождений промышленных вод.

Из вышеизложенного следует также, что при изучении и оценке месторождений подземных промышленных вод наряду с гидрогеологическим обоснованием ведущее значение имеет геолого-экономическое обоснование их перспективности.

Таблица 17

Минимальные расчетные промышленные концентрации йода и брома в подземных водах Западной Туркмении

Предельная стоимость 1 м ³ воды, коп.	Минимальная промышленная концентрация, мг/л			
	При отдельном извлечении		При совместном извлечении	
	I	Br	I	Br
0	11,5	325	10	360
			15	295
			20	250
			25	200
			30	160
5	19,0	400	10	445
			15	385
			20	325
			25	285
			30	225
10	26,7	470	10	515
			15	445
			20	400
			25	350
			30	300
15	34,5	540	10	585
			15	530
			20	470
			25	420
			30	370
20	42,0	610	10	660
			15	600
			20	540
			25	480
			30	440

Таблица 18

Оценка возможной стоимости извлечения редких металлов из подземных вод

Металл	Концентрация металла в сырье, мг/л	Расход воды на получение 1 т продукции, тыс. м ³	Стоимость воды в себестоимости продукции, тыс. руб.	Допустимая стоимость технологических затрат, тыс. руб.
Li	10	100,0	20,0	30,0
	50	20,0	4,0	46,0
	100	10,0	2,0	48,0
Cs	1,0	1000,0	20,0	30,0
	2,0	500,0	100,0	130,0
Металл	Концентрация металла в сырье, мг/л	Расход воды на получение 1 т продукции,	Стоимость воды в себестоимости продукции, тыс. руб.	Допустимая стоимость технологических затрат, тыс. руб.
Rb	3,0	333,0	67,0	1130,0
	5,0	200,0	40,0	1160,0
	10,0	100,0	20,0	1180,0

Глава 2

ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

[Глава написана С. С. Бондаренко совместно с В. П. Стрепетовым.]

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

СТАДИЙНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из важнейших принципов изучения месторождений полезных ископаемых в нашей стране является принцип стадийности проведения геологоразведочных работ. Практическое применение этого принципа предотвращает вовлечение в детальную разведку малоперспективных месторождений и, следовательно, необоснованное расходование государственных средств, а также позволяет осуществлять своевременный контроль за ходом геологоразведочных работ и управление процессом этих работ в масштабах отдельных отраслей народного хозяйства и страны в целом в зависимости от текущей и перспективной потребности в том или ином виде полезного ископаемого.

Принцип стадийности в полной мере относится и к разведке месторождений глубоких подземных промышленных вод. Подразделение разведочного процесса на стадии и требования к изученности месторождений на каждой стадии геологоразведочных работ применительно к подземным водам определяются приказом Министерства геологии СССР от 7 марта 1978 г. № 63, являющимся обязательным для всех организаций.

В полном объеме процесс изучения и оценки месторождений подземных вод включает следующие стадии: гидрогеологическая съемка, поиски, предварительная разведка, детальная разведка, эксплуатационная разведка. В определенных гидрогеологических условиях отдельные стадии геологоразведочных работ могут исключаться или объединяться. Для подземных промышленных вод, распространение которых связано с глубокими частями крупных артезианских бассейнов, проведение гидрогеологической съемки нецелесообразно, хотя она имеет ведущее значение при поисках месторождений пресных подземных вод, а также всех типов вод (пресных, минеральных, термальных и промышленных) в горноскладчатых областях. Рассмотрим кратко задачи и содержание работ на каждой стадии.

Поисковая стадия подразделяется на подстадии общих и детальных поисков.

При общих поисках производят оценку перспектив на все типы или определенные типы вод крупных гидрогеологических регионов или их частей. В результате проведения работ выделяют перспективные водоносные комплексы, определяют положение их в плане и разрезе, устанавливают приближенно состав вод и растворенных газов, отмечают благоприятные участки для постановки более детальных разведочных работ. При возможности производят региональную оценку прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов. Общие поиски базируются на целенаправленном анализе региональных геолого-геофизических и гидрогеологических материалов. В связи с этим основными видами работ являются сбор и анализ имеющейся геологической, геофизической и гидрогеологической информации, полученной при проведении площадных геофизических работ, бурении и опробовании скважин различного назначения, эксплуатации действующих водозаборов, изучении режима подземных вод и др. В необходимых случаях проводят ревизионное обследование и опробование существующих скважин и естественных водопроявлений.

Подстадия детальных поисков проводится на месторождениях III и реже II группы сложности, т. е. в горно-складчатых районах или в предгорных и межгорных впадинах со сложной тектоникой. Задачей детальных поисков является выявление и оконтуривание месторождений или участков, перспективных для постановки разведочных работ. Технологические исследования на стадии детальных поисков проводят в лабораторных и укрупненных масштабах по возможности с использованием пластовых вод изучаемого месторождения. Техничко-экономическое обоснование перспектив Проведения геологоразведочных работ и последующего освоения месторождений оформляется на этой стадии в виде технико-экономических расчетов или соображений; дается сравнительный анализ ожидаемых технико-экономических показателей различных участков месторождений, сопоставление с действующими и проектируемыми предприятиями по добыче и переработке гидроминерального сырья.

По результатам выполненных работ производят оценку эксплуатационных запасов по категориям C₁ и C₂, разрабатывают ориентировочное ТЭО. Принимают принципиальные решения по сбросу отработанных вод.

Предварительная разведка является основной стадией в разведке всех крупных месторождений, так как на этой стадии принимается решение о народнохозяйственной целесообразности освоения месторождения и вовлечения его в детальную разведку. Задачей предварительной разведки являются изучение основных геолого-гидрогеологических особенностей месторождения — геолого-структурных, фильтрационных, гидродинамических, гидрогеохимических, гидрогеотермических, установление источников формирования ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод.

Виды и содержание работ зависят от типа и группы сложности месторождений. На месторождениях I и в некоторых случаях II группы основными видами работ являются бурение и опробование, откачки из гидрогеологических скважин, каротажные работы, лабораторные исследования образцов керна, воды и газа. В отдельных случаях выполняют наземные геофизические исследования. На месторождениях III и иногда II группы осуществляют более сложный комплекс работ: бурение разведочных скважин с выполнением в них каротажных исследований, опробование опытными откачками, изотопные, гидрохимические, лабораторные исследования, наблюдения на действующих водозаборах.

Целью геолого-экономической оценки на стадии предварительной разведки является экономическое обоснование целесообразности постановки детальных разведочных работ или отказа от дальнейшей разведки месторождений (участков). На этой стадии составляют ТЭО (техничко-экономическое обоснование) или ТЭД (техничко-экономический доклад), содержащий проект временных кондиционных требований к месторождению и условиям его разработки. Вопросы технологии и экономики решают путем проведения укрупненных опытных технологических исследований с использованием оборудования и аппаратов, позволяющих осуществлять эти исследования в непрерывном режиме с целью разработки технологического регламента и экономических показателей процесса переработки гидроминерального сырья и получения продукции в количествах, достаточных для ее анализа и определения соответствия ее государственным стандартам и техническим условиям использования. Как правило, по результатам предварительной разведки выбирают участки под проектные водозаборы, обосновывают их рациональную конструкцию, производят оценку эксплуатационных запасов по категориям d и C₂ (иногда B), разрабатывают технологический регламент и временные кондиции, предварительно прорабатывают и согласовывают варианты сброса отработанных вод. Предварительную разведку глубоких подземных вод выполняют при наличии заявок, оформленных в соответствии с существующим законодательством. Основанием для разведки

промышленных вод может служить решение директивных органов.

Детальная разведка может проводиться на новых месторождениях и в пределах уже эксплуатируемых месторождений.

На новых месторождениях детальная разведка ставится в тех случаях, когда по результатам предыдущих стадий получена положительная геолого-экономическая оценка и отраслью намечается освоение месторождения в ближайшие 5 — 10 лет. Детальная разведка проводится на участках, согласованных с землепользователями, потребителями, с органами санитарного и рыбного надзора и др. Для проведения разведочных работ оформляется временный отвод земли.

На стадии детальной разведки уточняется природная модель и расчетная схема месторождения, определяются и принимаются расчетные значения гидрогеологических параметров, показатели качества вод и др. Виды и содержание работ принципиально не отличаются от таковых на предварительной стадии разведки. Однако на месторождениях I и II групп изучают, как правило, только продуктивные водоносные комплексы, а на месторождениях III группы основным видом работ служит длительный опытно-эксплуатационный выпуск, сопровождаемый комплексом лабораторных исследований и режимных наблюдений.

На стадии детальной разведки целью геолого-экономической оценки является экономическое обоснование целесообразности вовлечения в народнохозяйственное использование разведанного участка (месторождения) подземных промышленных вод, строительства (а при детальной разведке эксплуатируемого месторождения — расширения, реконструкции) предприятия по добыче и переработке гидроминерального сырья. Эта задача на вновь разведываемых месторождениях решается путем проведения длительных полупромышленных технологических испытаний гидроминерального сырья с использованием опытных и опытно-промышленных технологических установок. На этой стадии разрабатывается технико-экономическое обоснование постоянных кондиций для месторождения (участка), которые являются основой для подсчета запасов промышленных подземных вод и определения производственной мощности промышленного предприятия как по объему перерабатываемого гидроминерального сырья, так и по объему выпуска полезной продукции. Для месторождений промышленных вод кондиции и эксплуатационные запасы утверждаются только ГКЗ СССР. Отчеты по детальной разведке (или доразведке) месторождений служат обоснованием проектов строительства или реконструкции водозаборов.

Эксплуатационная разведка проводится на месторождениях (участках) с утвержденными запасами в процессе строительства и эксплуатации водозаборов с целью установления соответствия данных эксплуатации прогнозным расчетам, переоценки запасов по результатам эксплуатации, уточнения режима эксплуатации и др. Основными видами работ являются организация

и проведение режимных наблюдений за дебитами, уровнями и качеством воды по всем эксплуатационным и наблюдательным скважинам, обобщение и анализ материалов многолетней эксплуатации. Эксплуатационная разведка выполняется геологической службой эксплуатируемых организаций либо для проведения ее привлекаются специализированные организации.

По результатам эксплуатационной разведки уточняют эксплуатационные запасы, корректируют способ и режим эксплуатации, обосновывают целесообразность доразведки месторождения. В необходимых случаях пересматривают кондиции и запасы и переутверждают их в установленном порядке; проводят реконструкцию водозабора.

МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Разведка месторождений глубоких подземных вод сопряжена с значительными затратами денежных, материальных и трудовых ресурсов. Объясняется это в основном объективными причинами, к числу которых относятся: большая глубина залегания продуктивных водоносных комплексов, необходимость применения тяжелого и сложного оборудования и приборов, высокие требования к степени изученности месторождений для передачи их в промышленное освоение и др. Особенно велики затраты на разведку в отдаленных районах. Вместе с тем имеются и субъективные причины, например, отсутствие специального гидрогеологического оборудования и технических средств является одной из причин не только высокой стоимости, но и в ряде случаев низкой эффективности исследований либо их значительной продолжительности.

Гидрогеологические работы при поисках и разведке месторождений глубоких подземных вод включают комплекс различных методов исследований, которые могут применяться в разных модификациях и сочетаниях.

Виды и объемы гидрогеологических работ и исследований зависят от типа и сложности строения месторождения и стадийности изысканий. На начальных стадиях изысканий применяют в основном косвенные методы, направленные на выявление месторождений, определение их масштабов и принципиальных особенностей геолого-гидрогеологического строения. К таким методам относятся гидрогеологические съемки, специализированные съемки (термометрические, гидрогазохимические, инфракрасные), площадные геофизические исследования и т. д.

На стадиях предварительной и детальной разведки используют в основном прямые методы (бурение и гидрогеологическое опробование глубоких скважин), в некоторых случаях в сочетании с площадными геофизическими исследованиями. Имеют свою специфику и гидрогеологические исследования на действующих водозаборах.

Основные виды и назначение гидрогеологических исследований

Гидрогеологические исследования в горно-складчатых районах имеют многоцелевое назначение: выявляются особенности тектоники района с определением характера раскрытости нарушений, оценивается тепловой потенциал (тепловая мощность) месторождения, устанавливаются основные продуктивные водоносные комплексы или зоны и их положение в плане и разрезе, качество подземных вод, масштабы и группа сложности месторождения и др. На основе съемок и геофизических исследований многие задачи решаются на качественном уровне. Однако косвенные методы дают возможность эффективно определять места заложения поисково-разведочных скважин, обоснованно выбирать их глубину. Опробование разведочных гидрогеологических скважин также имеет свою специфику. Скважины опробуются обычно поинтервально сверху вниз, так как положение обводненных зон в разрезе даже предположительно неизвестно. При выявлении обводненных зон хорошие результаты дают термометрия (с помощью термокос), глубинное поинтервальное опробование, расходомерия, изотопные исследования воды и газа и др.

Имеет свои особенности комплекс гидрогеологических исследований на месторождениях промышленных вод в межгорных и предгорных впадинах, выполненных мощными толщами осадочных отложений. На месторождениях этого типа роль косвенных методов снижается. Из косвенных методов наиболее широко используются различные площадные геофизические исследования (электроразведка, сейсморазведка и др.). Задачей геофизических работ является выявление тектонических нарушений и установление структурного плана (в частности, под акваториями), определение необходимых проектных глубин скважин и мест их бурения в соответствии со структурным планом месторождений. Основными видами исследований являются традиционные гидрогеологические методы — бурение и опробование глубоких скважин. Опробование проводится под защитой колонны по способу снизу вверх с установкой между интервалами разделительных цементных мостов. Большую роль играют каротажные геофизические исследования, позволяющие решать большинство геологических и гидрогеологических вопросов: расчленение разреза на водоносные комплексы и водоупоры, определение суммарных и эффективных мощностей, предварительная оценка водно-физических свойств вмещающих пород и минерализации, геотермического градиента и др. Основным же средством изучения водоносных комплексов служат опытные откачки, при которых получают необходимые исходные, данные ДЛЯ определения гидрогеологических параметров и установления качества воды.

На месторождениях глубоких подземных вод в артезианских бассейнах древних платформ и эпипалеозойских плит гидрогеологические исследования включают обычно бурение и опробование глубоких разведочных скважин с комплексом сопутствующих исследований. Площадные геофизические исследования проводятся в очень редких случаях — при изучении карбонатных водоносных комплексов.

В процессе бурения скважин выполняется обширный комплекс геофизических исследований и опробование вскрытых интервалов пластоиспытателями на трубах. Опробование водоносных комплексов или горизонтов осуществляется под защитой эксплуатационной колонны по способу снизу вверх с последовательным вскрытием горизонтов перфорацией и проведением пробных, опытных или опытно-эксплуатационных откачек. В связи с внедрением способа эксплуатации месторождений промышленных вод с поддержанием пластовых давлений или захоронением отработанных вод водоносные горизонты, предназначенные для закачки промстоков (отработанных вод), опробуют также опытными нагнетаниями.

Перечисленные виды полевых изысканий выполняются непосредственно на месторождениях и направлены на их геолого-гидрогеологическое изучение. Геологоразведочные работы

сопровождаются лабораторными исследованиями. Они включают изучение водно-физических свойств водовмещающих пород (на образцах керна), химического и газового состава подземных вод, физических свойств, теплосодержания, технологических свойств. В ряде случаев выполняется комплекс исследований для изучения агрессивности воды и солевых отложений в стволе и призабойной зоне скважины, а также для решения некоторых других вопросов.

Гидрогеологические исследования при поисково-разведочных работах

Комплекс поисково-разведочных работ на подземные воды в каждом случае определяется не только сложностью гидрогеологических условий территории, но и степенью ее изученности, которая оценивается с помощью анализа материалов всех предшествующих геологических, гидрогеологических и геофизических исследований.

Основными видами работ при изучении месторождений глубоких подземных вод являются буровые, опытно-фильтрационные, геофизические, гидрологические исследования, наблюдения за естественным и нарушенным режимом подземных вод, обследование действующих водозаборных сооружений, отбор проб и химические исследования воды, специальные виды исследований (гидрогеохимические, геотермические, изотопные и др.). Как указывалось выше, геолого-гидрогеологические и специальные съемки, играющие ведущую роль при поисках и разведке месторождений пресных, минеральных и теплоэнергетических вод, особенно в горно-складчатых регионах, для глубоких подземных промышленных вод такого значения не имеют, хотя материалы их обычно полностью используются для характеристики общих гидрогеологических условий района исследований.

Буровые работы обеспечивают основной объем информации о месторождении и включают бурение поисковых, разведочных, разведочно-эксплуатационных, наблюдательных и при необходимости нагнетательных скважин.

Поисковые скважины бурят на стадии поисков для изучения геологического разреза, выделения и опробования всех встреченных водоносных горизонтов с целью выявления перспективных в качестве источника минерального и теплоэнергетического сырья, а также минеральных вод для лечебных и бальнеотерапевтических целей. Учитывая, как правило, большие глубины залегания промышленных вод, поисковые скважины бурят при крайней необходимости, когда полностью отсутствуют данные для решения задач поисковой стадии.

Бурение *разведочных* скважин осуществляется с целью изучения литологического состава, мощности, условий залегания, водо-обильности перспективных водоносных горизонтов, определения их коллекторских и фильтрационных свойств и качества подземных вод, граничных условий. Разведочные скважины бурят на стадии предварительной разведки на наиболее сложных месторождениях промышленных вод и на стадии детальной разведки.

Разведочно-эксплуатационные скважины бурят обычно на стадии детальной разведки с учетом проектной схемы водозабора. Бурение их согласовывается с заинтересованными организациями, а по своей конструкции и оборудованию они должны отвечать условиям эксплуатации с учетом проектируемого водоподъемного оборудования, агрессивных и коррозионных свойств воды. На многих месторождениях минеральных, а иногда и термальных вод разведочно-эксплуатационные скважины могут буриться уже на стадии предварительной разведки. По окончании бурения они передаются эксплуатирующей организации.

Наблюдательные скважины сооружают для наблюдений за естественным и нарушенным режимом подземных вод, а при проведении опытно-фильтрационных работ используют для изучения развития депрессионной воронки, определения гидрогеологических параметров, степени подвижности контуров подземных вод, их качества (химический состав, содержание полезных компонентов, температура). При изучении глубоких горизонтов в связи с большими материальными затратами число наблюдательных скважин ограничено либо они отсутствуют совсем.

Поскольку буровые работы требуют, как правило, наибольших затрат, бурение каждой из скважин должно быть нацелено на решение максимально возможного числа поставленных задач. Это требует серьезного внимания к проектированию бурения, т.е. к вопросам размещения скважин, выбору их оптимальных конструкций, способа бурения, технологии вскрытия продуктивных водоносных горизонтов и опробования скважин. Решение этих вопросов в каждом конкретном случае зависит от целевого назначения скважин, геолого-структурной обстановки и геолого-технических условий проходки скважин.

Схема размещения, число разведочных скважин и расстояния между ними определяются прежде всего типом месторождения промышленных вод и его основными геолого-структурными особенностями. Площадная разведка оправдана либо при изучении пластовых месторождений широкого

регионального распространения, либо при изучении месторождений со сложной структурой, особенно при наличии большого количества различно ориентированных разрывных нарушений, роль которых требуется выяснить. При выборе оптимальных схем размещения скважин на исследуемой площади и определении необходимого их числа следует исходить из следующих обязательных требований:

тщательного анализа геолого-гидрогеологических условий по данным всех предыдущих исследований;

использования опыта изучения месторождений, имеющих аналогичные геолого-тектонические и гидрогеологические условия;

учета предполагаемой гидродинамической расчетной схемы и схемы водозабора.

При гидрогеологических исследованиях сейчас успешно используются методы математического моделирования, которое на крупных месторождениях целесообразно применять уже на стадии предварительной разведки, основываясь на принципе последовательных приближений. На каждом этапе программируется и задается на машине сумма сведений, накопленных к данному моменту. В зависимости от степени сложности месторождения возможно решение одной-двух задач, что позволяет корректировать работы, в частности, выбирать наиболее рациональное размещение на площади разведочных скважин.

Глубина скважин должна обеспечивать полное вскрытие перспективного водоносного горизонта (зоны), а диаметр и устьевое оборудование — возможность установки насосов для их опробования, наблюдений за уровнем подземных вод, для самоизливающихся скважин — за давлением, проведения геофизических и различных глубинных исследований. При определении глубин и диаметров скважин, а также при размещении их при разведке месторождений промышленных вод особенно важно учитывать возможность использования одной и той же скважины для различных целей, например, разведочных — в качестве разведочно-эксплуатационных и наблюдательных — в качестве разведочных и т. д. Конструкция разведочно-эксплуатационных скважин выбирается с учетом возможности их последующей эксплуатации с проектной производительностью, что особенно важно при разведке глубокозалегающих горизонтов.

Способ, технология бурения и конструкции фильтров должны обеспечивать получение объективных характеристик водоносных горизонтов как по их водообильности и фильтрационным свойствам, так и по качеству воды. Прежде всего это правильный подбор промывочных жидкостей, учитывающий предполагаемый химический состав подземных вод, бурение чистой водой при устойчивых коллекторах и невысоких напорах подземных вод, разглинизация скважин при применении глинистых растворов.

Гидрогеологические исследования скважин включают наблюдения и поинтервальное опробование в процессе бурения, опытно-фильтрационные работы и глубинное опробование скважин.

Наблюдения в процессе проходки скважин без специальных остановок бурения для гидрогеологических опробований производятся с целью выявления или уточнения положения в геологическом разрезе, вскрываемом скважиной, горизонтов (зон) промышленной воды. При этом о водоносности пород судят по косвенным показателям: составу проходимых пород, изменению объема и физических свойств промывочной жидкости и ее химического состава (фильтрата).

Параметры разреза получают (помимо исследования керна) по результатам наблюдений за скоростью бурения и характером работы бурильного агрегата. Кроме того, некоторые сведения получают путем изучения шлама, выносимого промывочной жидкостью. Важную роль играет наблюдение за балансом глинистого раствора. По изменению его объема судят о вскрытии водоносного горизонта и его водопроницаемости. О притоке воды в скважину свидетельствует изменение минерализации и состава промывочной жидкости (фильтрата). Следует иметь в виду, что увеличение минерализации может произойти не только из-за притока сильноминерализованных вод из вскрываемых водоносных горизонтов, но и вследствие выщелачивания промывочной жидкостью солей из пород. Поэтому при гидрогеологической интерпретации Данных об изменении химических свойств фильтрата глинистого раствора нужно учитывать результаты всех других наблюдений (режим бурения, баланс глинистого раствора, состав шлама).

Поинтервальное опробование скважин откачками (выпусками) в процессе проходки проводится с целью установления интервала, содержащего промышленные воды, а также получения сведений о всех других водоносных горизонтах. На месторождениях, где ожидаются высокие избыточные напоры, следует предусматривать Оборудование устья скважин противовыбросной арматурой — Превенторами.

Поинтервальное опробование может производиться как с обсадкой ствола скважины (с надежной

изоляция ранее опробованных интервалов), так и без обсадки путем наращивания опробуемого интервала, применения пластоиспытателей, а также изоляции опробуемых интервалов с помощью системы пакеров, если водоносные горизонты разобщены водоупорными слоями. В зависимости от типа месторождения, стадии его изучения, а также от глубины и категории скважин шаг таких поинтервальных опробований может быть различным и должен обеспечивать уверенную интерполяцию в пределах разреза. Для месторождений, приуроченных к крупным пластовым системам, поинтервальное опробование чаще всего не имеет смысла. Оно не исключается в тех случаях, когда разрез сложен породами, литологически мало отличающимися друг от друга, а гидрогеологическую роль каждого из пластов оценить по косвенным показателям не удастся.

В процессе проходки скважин и при поинтервальных откачках большое внимание должно уделяться замеру уровней (напоров) воды в скважинах. При этом следует добиваться того, чтобы точные данные по напорам были получены для различных глубин, так как они необходимы для выявления гидродинамической структуры месторождения.

Опытно-фильтрационные работы являются основным видом исследований при поисках и разведке подземных вод. Задачей их является определение основных гидрогеологических параметров, граничных условий горизонтов, возможной производительности скважин. Методика опытно-фильтрационных работ определяется их целевым назначением, стадией исследований и гидрогеологическими условиями конкретного месторождения. По способу производства они подразделяются на выпуски (для самоизливающихся скважин) и откачки, когда применяются водоподъемные средства. По целевому назначению откачки (выпуски) подразделяются на пробные, опытные и опытно-эксплуатационные. Общими для всех видов откачек (выпусков) являются следующие требования. Устья самоизливающихся скважин оборудуют специальной фонтанной арматурой, применяемой на нефтяных скважинах, которая позволяет регулировать и замерять дебит скважин, и устьевые давления, проводить глубинные исследования. При проведении принудительных откачек должна быть обеспечена возможность замера уровня в скважинах, главным образом путем спуска в них пьезометрических трубок.

Обязательным условием для получения достоверных значений гидрогеологических параметров является соблюдение режима откачки (выпуска), обеспечивающего применение существующих методов расчета. Наиболее надежный и доступный на практике метод — проведение откачек при постоянном дебите скважины. Если же обеспечить постоянство дебита самоизливающейся скважины невозможно (при небольшой производительности и избыточном давлении), выпуск проводится с постоянным понижением, либо при свободном самоизливе, либо при постоянном остаточном давлении на устье.

При всех видах откачек (выпусков) на каждом из понижений, если их несколько, проводят: замеры дебита воды и газа, уровня воды (или давления), температуры воды, а при необходимости — атмосферного давления и температуры воздуха; отбор проб воды и газа на химический анализ. При выборе измерительной техники для проведения опытно-фильтрационных работ следует стремиться к использованию наиболее надежных и высокочувствительных приборов, предпочтительней с постоянной записью измеряемых параметров. Например, для замеров дебита — газорасходомеров, для замеров устьевых давлений — образцовых манометров такой точности и чувствительности, которая соответствует конкретным условиям; чувствительность приборов по меньшей мере должна в 2 — 3 раза превышать минимальную величину изменения показателя или параметра. Вообще вопрос оборудования глубоких скважин и измерительной техники исключительно важен при опробовании глубоких скважин, особенно при высоких газонасыщенности и температуре воды самоизливающихся скважин. В таких случаях возникают значительные трудности как при проведении опыта, так и при последующей интерпретации его результатов. Частично эта проблема решается применением глубинных манометров, с помощью которых замеряется давление непосредственно в исследуемом пласте или уж, во всяком случае, ниже зоны выделения растворенного газа в спонтанную фазу.

Частота всех видов наблюдений в процессе опытно-фильтрационных работ определяется их целевым назначением, общей продолжительностью откачки и задачей самих наблюдений.

Пробные откачки (выпуски) проводят преимущественно на стадии поисковых работ для предварительной оценки фильтрационных свойств и качества воды отдельных водоносных горизонтов и трещинных зон и различных участков распространения изучаемых вод с целью выбора наиболее перспективных для постановки разведочных работ. На стадиях предварительной и детальной разведки пробные откачки (выпуски) проводятся с целью определения возможной производительности скважин для планирования опытных работ.

Опытные откачки проводят на стадии предварительной и детальной разведки, их подразделяют на

одиночные, кустовые и групповые. Задачей опытных откачек являются определение расчетных гидрогеологических параметров и выявление закономерностей их изменения в пространстве, определение зависимости между дебитом скважин и понижением уровня воды, изучение химического и газового состава промышленных вод, температуры, их изменения в зависимости от водоотбора, изучение агрессивных свойств вод и рассолов и процессов солеотложения. Режим и продолжительность опытных откачек, число понижений определяются целевым назначением, стадией разведки, характером водоносного горизонта и сложностью гидрогеологических условий месторождения.

Длительность опытных откачек определяется на основании данных о горизонтах, полученных с помощью пробных откачек. В процессе работ ее можно корректировать в зависимости от характера изменения гидродинамических и физико-химических показателей, учитывая, что во многих случаях полная стабилизация гидродинамического режима недостижима. Это касается прежде всего пластовых месторождений платформенных областей, для которых характерно также постоянство химического состава и минерализации воды в пределах горизонта на большой площади. Длительность опытных откачек здесь минимальная. Более длительные откачки с несколькими ступенями проводятся при наличии предпосылок зависимости качества воды от дебита. В этом случае должна быть выявлена связь качества воды с интенсивностью водоотбора, с тем чтобы учесть это при проектировании опытно-эксплуатационного выпуска. Кроме того, по результатам опытной откачки определяют оптимальный эксплуатационный дебит скважин с учетом их пескования, пульсирующего режима и явления термогазлифта, солеотложения и др.

Опытные кустовые откачки проводят с целью определения гидрогеологических параметров, степени подвижности гидрохимических и геотермических границ, определения срезок уровня при оценке запасов гидравлическим методом.

Методика опытных кустовых откачек определяется в зависимости от основной задачи и гидрогеологических особенностей. Исходя из задачи определения гидрогеологических параметров, наблюдательные скважины должны располагаться в зоне квазистационарного режима, а величина понижения уровня на конец откачки в наблюдательной скважине должна значительно превышать точность замера уровня. Число наблюдательных скважин в значительной степени определяется глубиной залегания водоносного горизонта. По экономическим соображениям на месторождениях глубоких подземных вод наблюдательные скважины бурят в минимальном количестве и в то же время максимально используют все пробуренные ранее скважины различного назначения. Это необходимо иметь в виду при завершении исследований скважин на любой стадии поисково-разведочных работ, предусматривая их консервацию до следующей стадии, а не ликвидацию, что часто имеет место.

При определении расстояния между наблюдательными и опытными скважинами, а также продолжительности откачки необходимо стремиться к оптимальному варианту, когда с помощью кустовой откачки будет решено максимальное число задач в расчете на то, чтобы продолжительность откачки не превышала 20 — 30 сут.

В некоторых случаях для создания необходимой степени возмущения пласта, определения эксплуатационных возможностей месторождения (участка) опытные откачки проводят из группы скважин.

Опытно-эксплуатационные откачки (выпуски) проводят на стадии детальной разведки подавляющего большинства месторождений минеральных вод, а на месторождениях промышленных вод — при весьма сложных гидрогеологических условиях. Основная задача их заключается в выявлении закономерностей изменения уровня (реже дебита) и качества промышленных вод, чаще всего при заданной величине водоотбора.

При разведке промышленных вод, приуроченных к многопластовым водонапорным системам, возникает вопрос оценки возможностей совместной эксплуатации нескольких водоносных пластов с различными фильтрационными свойствами, напорами и качеством воды. Это связано с тем, что при работе скважины, вскрывающей несколько таких горизонтов, происходит переток по стволу скважины довольно длительное время, хотя перераспределение напоров в ней практически мгновенное. Специальными исследованиями (например, на месторождениях Западной Туркмении) установлено, что прогнозирование понижений возможно с помощью существующих решений, не учитывающих перетока по стволу скважины; в то же время при прогнозировании качества воды игнорирование перетока может привести к существенным ошибкам.

В настоящее время существуют аналитические решения для такого прогноза в основном для двухслойной системы, пока не нашедшие применения на практике. Поэтому на данном этапе

Наиболее целесообразный, а для многослойной системы единственно возможный путь решения вопроса о совместной эксплуатации таких горизонтов — это опытно-эксплуатационная откачка (выпуск) при условиях, близких к эксплуатационным.

— Методика опытно-эксплуатационной откачки обосновывается с помощью анализа результатов всех проведенных на предыдущих стадиях работ. Несколько режимов водоотбора целесообразны в том случае, когда имеются предпосылки (или данные): 1) ограниченности естественных ресурсов подземных вод горизонта и соответственно возможности их оценки по результатам такой откачки; 2) зависимости качества вод от интенсивности водоотбора. При этом следует учитывать реальную возможность установления опытным путем закономерностей изменения качества подземных вод.

Продолжительность опытно-эксплуатационных откачек (выпусков) определяется их задачами и сложностью гидрогеологических и гидрохимических условий месторождения. Для выявления условий совместной эксплуатации многопластовых водоносных комплексов длительность их зависит от соотношения напоров, водопроницаемости и дебита скважины, определяющих скорость перетоков по стволу, которую ориентировочно можно рассчитать по данным раздельного опробования пластов. Эмпирическим показателем является достижение усредненного химического состава воды и стабилизация его.

Правильность с методических позиций проведения всех видов опытно-фильтрационных работ и их интерпретации существенно зависит от своевременности и тщательности обработки полученных данных. Все результаты уже в процессе опыта нужно подвергать графической обработке: строить графики изменения во времени уровней (или понижений), дебита воды, газа, температуры, содержания характерных компонентов, что позволяет судить о степени стабилизации режима откачки, зависимости различных показателей друг от друга, сезонных и других внешних факторах. Соответственно при необходимости может быть откорректирована дальнейшая методика проведения опыта. Кроме того, строят гидрогеологические профили и карты, на которых отражают результаты наблюдений за развивающейся депрессией и продвижением гидрохимических контуров в плане и разрезе.

Исследования *химического состава и физических свойств* подземных вод обязательны при поисках и разведке, поскольку химические и физические характеристики прежде всего определяют принадлежность их к соответствующему типу промышленных вод. Основными задачами гидрохимических исследований являются: 1) оценка качества подземных вод с точки зрения использования их в качестве промышленных; 2) получение гидрохимических данных, необходимых для выявления источников и механизмов формирования подземных вод, прогноза их качества при эксплуатации, в том числе с учетом обратной закачки отработанных вод. Тем самым определяется необходимость таких исследований, которые обеспечат надежную информацию о закономерностях изменения качества подземных вод по площади и в разрезе. При этом помимо основного состава существенное внимание уделяется составу свободных и растворенных газов, а также содержанию специфических компонентов.

В зависимости от конкретной задачи химические анализы воды по степени детальности (типу определяемых компонентов) и точности подразделяются на оперативные (отдельные свойства или характерные компоненты), краткие (в том числе полевые), сокращенные и полные. Промышленные воды кроме обычных подвергаются специальным технологическим исследованиям, на основании которых оценивают возможность извлечения из них полезных компонентов и допустимые нижние пределы концентраций этих компонентов.

Изучение режима подземных вод исследуемого месторождения очень важно для установления его гидрогеологических условий, источников и путей восполнения ресурсов промышленных подземных вод. Наблюдения за режимом должны составлять важную часть исследований в общем комплексе геологоразведочных работ.

Основной гидрогеологической задачей, на решение которой должны быть направлены режимные наблюдения, являются определения характера происходящих при разведке изменений рельефа пьезометрических поверхностей, распределения по площади и в вертикальном разрезе вод различной минерализации и состава, степени взаимодействия гидрогеологических выработок. Для этого необходимо определить дебиты, динамические или статические уровни (избыточных давлений), замерить температуры на изливе, произвести отбор проб воды, определить на месте отдельные характерные компоненты ионно-солевого или газового состава воды. Наблюдения должны осуществляться в фиксированные сроки с частотой, обеспечивающей достоверную интерпретацию полученных закономерностей изменения тех или иных показателей в зависимости от поставленных задач.

Режимные наблюдения особенно важны в тех случаях, когда при оценке эксплуатационных запасов используются эмпирические зависимости, полученные при опытно-эксплуатационных откачках. В этом случае информация о естественных колебаниях уровня обязательна для достоверной интерпретации полученных в процессе опыта данных. Этим предопределяется необходимость организации режимных наблюдений в начале поисково-разведочных работ, с тем чтобы цикл их охватывал все сезонные колебания уровня и химического состава подземных вод.

Гидрогеологические исследования на эксплуатируемых месторождениях

Гидрогеологические исследования на эксплуатируемых месторождениях включают прежде всего наблюдения за гидродинамическим и гидрохимическим режимом эксплуатации водозаборных сооружений, которые имеют большое значение для всех типов вод и месторождений и совершенно незаменимы на месторождениях со сложными гидрогеологическими условиями (II и III групп сложности). Две основные задачи из числа тех, что решаются на основании таких наблюдений, касаются непосредственно эксплуатации месторождений: 1) уточнение эксплуатационных запасов (или подсчет их, если ранее он не был выполнен) и перевод запасов в более высокие категории; 2) выбор наиболее рационального способа эксплуатации с учетом экологических проблем (охраны подземных вод от истощения и загрязнения, а также защиты окружающей среды от негативного воздействия эксплуатации подземных вод). Анализ опыта эксплуатации позволяет решать также такие важные методические задачи, как оценка достоверности гидрогеологических прогнозов и усовершенствование методов разведки с целью повышения эффективности оценки эксплуатационных запасов. Месторождения промышленных вод, за редким исключением, отличаются сложными гидрогеологическими условиями и большими глубинами залегания, в связи с чем бурение поисково-разведочных скважин ограничено. Классификацией эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод [23] узаконено проектирование водозаборных сооружений при таком соотношении различных категорий запасов, когда запасы высшей категории (А) не превышают 40% для первой группы месторождений, а для третьей — отсутствуют вообще. Кроме того, в ряде случаев освоение месторождений промышленных вод допускается при меньших соотношениях запасов разной категории изученности. Таким образом, перевод эксплуатационных запасов в более высокие категории является насущной задачей для большинства месторождений при их реконструкции, расширении и т. д. Кроме того, нередки случаи, когда требуется анализ причин неподтверждения выполненных при оценке запасов гидрогеологических прогнозов. Представительные гидрогеологические наблюдения при эксплуатации позволяют существенно уточнить гидрогеологические условия, в первую очередь различного рода границы (литологические и тектонические экраны, фильтрационную неоднородность в отдаленных от скважин областях, боковое питание, перетекание между горизонтами и т. п.), которые достоверно выявить в процессе разведочных работ затруднительно вследствие их краткосрочности по сравнению с периодом эксплуатации. Выполненный во ВСЕГИНГЕО анализ опыта эксплуатации ряда месторождений промышленных вод позволил выявить недостатки гидрогеологических исследований на разрабатываемых месторождениях, а где оказалось возможным решить некоторые из перечисленных выше задач. Создание специальной наблюдательной сети в проектах разработки ряда месторождений не предусмотрено либо запланировано в недостаточном объеме без соблюдения требований к конструкции и оборудованию наблюдательных скважин. Практически для наблюдений используют единичные скважины, непригодные по каким-либо причинам для эксплуатации. Систематические наблюдения на некоторых водозаборных сооружениях промышленных вод ведутся только за дебитом и содержанием полезных и вредных компонентов.

Тем не менее даже при существенных недостатках современных гидрогеологических наблюдений выполненный анализ опыта эксплуатации семи месторождений промышленных вод позволил существенно уточнить гидрогеологические границы некоторых из них и определить фильтрационные параметры водоносных горизонтов. Большинство из вновь выявленных границ играют весьма существенную роль в оценке эксплуатационных запасов. Например, в Азербайджанской и Туркменской ССР на месторождениях промышленных вод установлена экранирующая роль многих тектонических нарушений, а в Пермском Предуралье обнаружено перетекание из одного горизонта в другой.

Следует отметить такой вид исследований, как опробование эксплуатационных скважин перед вводом их в эксплуатацию, которое на современном этапе, как правило, выполняется неудовлетворительно. Насущной современной задачей является коренное улучшение гидрогеологических

исследований в процессе строительства и эксплуатации водозаборных сооружений на всех месторождениях подземных промышленных вод.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЛУБОКИХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Оценка эксплуатационных запасов глубоких подземных вод пластовых водонапорных систем в большинстве случаев производится путем гидродинамических расчетов, или так называемым гидродинамическим методом. Этот метод заключается в определении дебитов и динамических уровней подземных вод в течение расчетного срока эксплуатации водозаборов. Для промышленных подземных вод, добыча которых обеспечивает работу производственных предприятий и выпуск определенного объема продукции, оценка эксплуатационных запасов обычно сводится к определению дебита водозабора при заданном допустимом понижении динамического уровня от поверхности земли или к расчетам понижения уровней в период эксплуатации при заданном дебите водозабора. Для оценки эксплуатационных запасов этим методом необходимо достаточно точно знать параметры, характеризующие подземные промышленные воды и вмещающие их породы.

К числу основных расчетных гидрогеологических параметров относятся: 1) мощность водоносных пород; 2) фильтрационные свойства пород (коэффициент фильтрации, проницаемость, водопроницаемость); 3) пьезопроводность (уровнепроводность) пород; 4) упругие свойства водоносных горизонтов, сжимаемость вод и пород; 5) температура подземных вод; 6) минерализация, плотность и вязкость подземных вод. Ниже приводятся основные введения об этих параметрах.

Проницаемость характеризует способность породы пропускать сквозь себя жидкость или газ под действием давления. Впервые этот параметр был предложен Дарси в 1856 г.; в современном виде закон Дарси выражается следующим образом:

$$Q = F(k_n / \mu)(dP/dx),$$

где Q — расход жидкости; F — площадь сечения потока; k_n — коэффициент проницаемости; μ — вязкость жидкости; dP/dx — градиент давления.

Проницаемость характеризует только свойства пористой среды и не зависит от свойств фильтрующихся жидкостей; измерение ее производится обычно в лабораторных условиях на фильтрационных приборах. Для определения проницаемости образцов пород используют воду, керосин или газ. Нередко величины проницаемости одних и тех же образцов пород, полученные разными методами, существенно отличаются, причем газовая проницаемость оказывается, как правило выше жидкостной. Это явление связано с факторами, обусловленными сложным физико-химическим взаимодействием фильтрующихся жидкостей со скелетами горных пород, причем далеко не всегда можно однозначно выявить факторы такого взаимодействия и удовлетворительно их объяснить, и тем более дать количественную оценку их воздействия на точность лабораторных экспериментов. В связи с этим предпочтение обычно отдается значениям проницаемости пород, определяемым по результатам опытных гидрогеологических исследований, хотя лабораторные определения этого параметра широко используются для характеристики разреза водоносных пород, определения мест притока воды в скважины и т. д.

Коэффициент фильтрации k в отличие от коэффициента проницаемости характеризует свойства водопроводящих пород в зависимости от свойств фильтрующихся жидкостей. Он имеет размерность скорости и численно выражает расход потока пластовой жидкости через единицу площади его живого сечения при уклоне пьезометрической поверхности, равном единице. Связь коэффициентов фильтрации и проницаемости выражается соотношением

$$k = 0,864 (k_n \gamma / \mu),$$

где k — коэффициент фильтрации; γ — плотность воды.

Существует много методов определения k по действующему диаметру и пористости пород, однако ни один из них не обеспечивает достаточной точности оценки этого параметра. Поэтому основными наиболее достоверными являются методы определения коэффициента фильтрации по данным опытных откачек из скважин.

Коэффициент- пьезопроводности a характеризует скорость перераспределения давления в пласте по площади под влиянием первоначального его изменения. Этот параметр является комплексным показателем, зависящим от фильтрационных и упругих свойств водоносных горизонтов. Он определяется по формуле

$$\alpha = k_{\pi} / \mu \beta^* = k / \gamma \beta^*,$$

где $|\beta^*$ — коэффициент упругоёмкости. Пьезопроводность наиболее точно определяется по данным откачек из скважин.

Коэффициент упругоёмкости $|\beta^*$ физически показывает, какое количество жидкости может высвободиться из единицы объема пласта при снижении в нем давления на 0,1 МПа. Упруго-ёмкость зависит, таким образом, от пористости породы, сжимаемости породы и жидкости:

$$\beta^* = n(\beta_{\pi} + \beta_{ж})$$

или

$$\beta^* = \beta_{\pi} + n\beta_{ж}.$$

где n — пористость породы; $|\beta_{\pi}$ — сжимаемость водонасыщенной породы; $\beta_{ж}$ — сжимаемость пластовой жидкости; $|\beta_{\pi}$ — сжимаемость скелета породы.

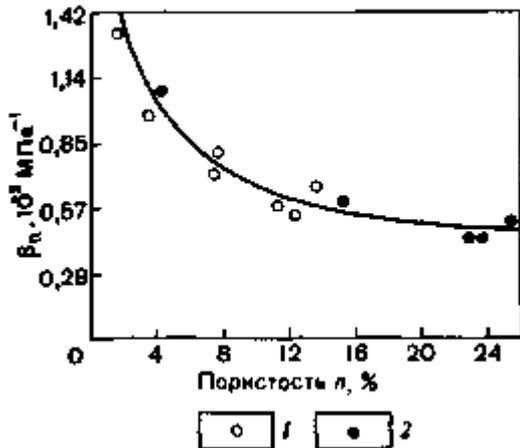


Рис. 7. График зависимости сжимаемости пород P_n от пористости n . По Р. Холлу: 1 — известняки; 2 — песчаники

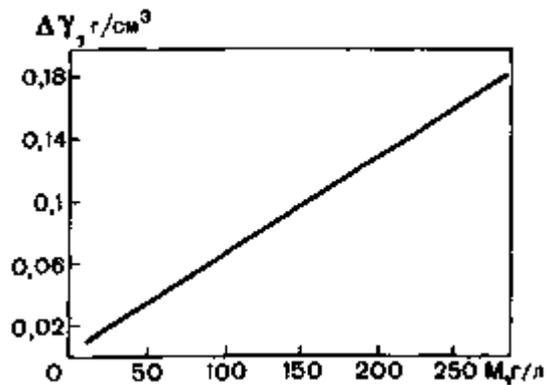


Рис. 8. График зависимости между разностью плотностей дистиллированной и минерализованной вод $\Delta \gamma$ и их минерализацией M

Коэффициент упругого сжатия $|\beta$, или сжимаемость, характеризует способность вещества изменять свой объем под влиянием приложенного давления; измеряется он в относительных единицах (МПа^{-1}). Для определения коэффициента упругого сжатия используют приборы типа стабилметра, позволяющие осуществлять всестороннее сжатие образца породы или воды. Наиболее часто встречающиеся значения этих коэффициентов: для пластовых вод $\beta_{ж} = (2,0-7) \cdot 10^{-6} \text{ МПа}^{-1}$; для пород $\beta_{\pi} = (0,7-5) \cdot 10^{-6} \text{ МПа}^{-1}$.

Коэффициенты упругого сжатия могут быть с достаточной для практических целей точностью получены расчетным путем. Коэффициент упругого сжатия породы, как показали эксперименты, зависит в основном от ее пористости и весьма незначительно — от состава зерен породы. Коэффициент упругого сжатия пор $|\beta_{\pi}$, может быть определен по графику Холла (рис. 7), а коэффициент упругого сжатия породы определяется по формуле

$$|\beta = |\beta_{\pi}.$$

Для приближенных расчетов при $n = 0,15 - 0,25$ можно принимать $|\beta_{\pi} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}^{-1} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{т}$.

Коэффициент упругого сжатия жидкости зависит от минерализации, плотности, газонасыщенности, температуры и давления. Для пластовой воды коэффициент сжимаемости с достаточной для практических целей точностью определяется по эмпирической формуле. Мамуны с учетом формулы Додсона — Стендинга, учитывающей растворенного газа:

$$|\beta_{ж} = (1 - 0,05 V_0) (|\beta_0 - 7,16 \cdot 10^{-3} M/Y),$$

где $|\beta_0$ — коэффициент сжимаемости чистой воды (обычно принимаемый равным $4,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{т}$); M — минерализация воды; V_0 — газовый фактор.

Плотность пластовой воды играет существенную роль при региональном изучении гидрогеодинамики. Не менее важное значение имеет учет плотности пластовых вод при определении расчетных гидрогеологических параметров. Это связано с тем, что плотность воды заметно изменяется в зависимости от минерализации, температуры и давления. Возможные ошибки в определении параметров без учета этих факторов будут тем больше, чем глубже от поверхности залегает водоносный горизонт, чем больше разница пластовых и устьевых (в скважинах) температур

воды и чем больше минерализация последней. Необходимость в определении пластовой плотности подземных вод возникает, когда нужно оценить изменение этого параметра по стволу скважин, когда производится прогноз изменения плотности воды в пластовых условиях на площади распространения водоносного горизонта и т. д. Плотность воды необходимо определять также при расчетах величин k , k_n , $\rho_{ж}$ и a .

Таблица 19

Относительная масса и удельный объем воды при различных температурах

Температура, °С	Относительная масса	Удельный объем, м ³ /кг	Температура, °С	Относительная масса	Удельный объем, м ³ /кг
-10	0,99815	1,10180	25	0,99707	1,00294
-9	0,99843	1,00157	26	0,99681	1,00320
-8	0,99869	1,00131	27	0,99654	1,00347
-7	0,99892	1,00108	28	0,99626	1,00375
-6	0,99912	1,00088	29	0,99597	1,00405
0	0,99930	1,00070	30	0,99567	1,00435
-4	0,99945	1,00055	35	0,99406	1,00598
-3	0,99958	1,00042	40	0,99224	1,00782
-2	0,99970	1,00031	45	0,99024	1,00985
-1	0,99979	1,00021	50	0,98807	1,01207
0	0,99993	1,00007	55	0,98573	1,01448
1	0,99987	1,00013	60	0,98324	1,01705
2	0,99997	1,00003	65	0,98059	1,01979
3	0,99999	1,00001	70	0,97781	1,02270
4	1,00000	1,00000	75	0,97489	1,02576
5	0,99999	1,00001	80	0,97183	1,02899
6	0,99997	1,00003	85	0,96885	1,03237
7	0,99993	1,00007	90	0,96543	1,03599
8	0,99988	1,00012	95	0,96192	1,03959
9	0,99981	1,00019	100	0,95838	1,04343
10	0,99973	1,00027	110	0,9510	1,0515
11	0,99963	1,00037	120	0,9434	1,0601
12	0,99952	1,00048	130	0,9352	1,0693
13	0,99940	1,00060	140	0,9264	1,0794
14	0,99927	1,00073	150	0,9173	1,0902
15	0,99913	1,00087	160	0,9075	1,1019
16	0,99897	1,00103	170	0,8973	1,1145
17	0,99880	1,00130	180	0,8866	1,1279
18	0,99862	1,00138	190	0,8750	1,1429
19	0,99843	1,00157	200	0,8649	1,1563
20	0,99823	1,00177	210	0,850	1,177
21	0,99802	1,00198	220	0,837	1,195
22	0,99780	1,00221	230	0,823	1,215
23	0,99756	1,00244	240	0,809	1,236
24	0,99732	1,00268	250	0,799	1,251

Разность между плотностями ρ_w минерализованной и дистиллированной воды показана на рис. 8. Известно также, что с повышением температуры (выше 0°С) плотность воды уменьшается (табл. 19). Используя данные указанной таблицы, Л. В. Боровский [20] аппроксимировал изменение плотности дистиллированной воды при температуре до 200°С в виде уравнений:

при $t < 10^\circ\text{C}$ $\rho_w(t) = 1 - 5,9 \cdot 10^{-6}(t - 4)^{1,95}$; при $100^\circ\text{C} < t < 200^\circ\text{C}$ $\rho_w(t) = 0,9584 - 3,37 \cdot 10^{-4}(t - 100)^{1,22}$.

Как указывает Л. В. Боровский, погрешность в расчетах $\rho_w(t)$ относительно их фактических значений не превышает 0,16%, что вполне допустимо в практических расчетах. При заданной минерализации практически для любых температур добавки ρ_w к плотности дистиллированной воды составляют почти постоянную величину.

Оценка фильтрационных свойств пород требует учета и определения вязкости фильтрующихся подземных вод. Вязкость дистиллированной воды равна 1 Па·с при атмосферном давлении и комнатной температуре. Увеличение минерализации ведет к значительному повышению вязкости жидкости; рост температуры приводит к уменьшению вязкости почти в одинаковой степени для

вод разной минерализации. Зависимость вязкости от минерализации и температуры подзем-вод показана на рис. 9.

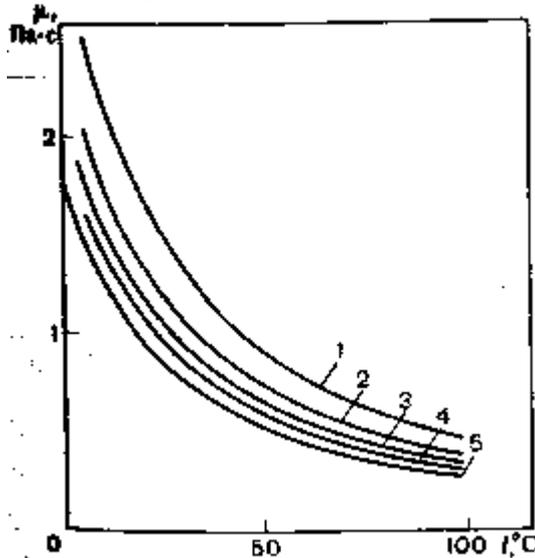


Рис. 9. График зависимости вязкости воды от температуры при разной минерализации.

Минерализация (г/л): 1 — 200; 2 — 180; 3 — 140; 4 — 100; 5 — 0

Под эффективной мощностью понимается общая суммарная мощность продуктивных пластов водоносного горизонта или комплекса, которые обеспечивают приток подземных вод в скважину. Вследствие обычно небольших объемов отбора керна из глубоких скважин и всегда низкого процента его выноса литолого-стратиграфическое расчленение вскрываемых скважинами отложений и определение мощности промышленной водоносной зоны осуществляют главным образом по данным промыслово-геофизических исследований, в частности, стандартного электрического каротажа, боковых каротажных зондирований (БКЗ), радиоактивного каротажа, резистивиметрии, инклинометрии, термометрии и т. д. При определении эффективной мощности водоносных пород для изучаемого района или участка целесообразно строить схемы корреляции разрезов скважин в интервалах залегания промышленных подземных вод. Такие схемы дают представление о характере изменения мощности, выдержанности или выклинивании отдельных водоносных и водоупорных горизонтов, гидравлической взаимосвязи занимающих в разрезе разное положение водоносных пластов. Эффективная мощность в каждой исследуемой точке (скважине) определяется как сумма мощностей отдельных водоносных пластов, горизонтов или зон:

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_1^n m_i,$$

где m — суммарная эффективная мощность водоносных пород в скважине (точке); m_1, m_2, \dots, m_n — мощности отдельных выделенных в разрезе водоносных пластов или горизонтов.

Особенности подсчета эксплуатационных запасов промышленных вод приводят часто к необходимости оценки средневзвешенной для участка или района мощности водоносного комплекса (горизонта), при определении которой целесообразно придерживаться следующего порядка. В случае достаточно четкой корреляции отдельных водоносных горизонтов или пластов в пределах изучаемого района или разведваемого участка определяется мощность каждого такого пласта или горизонта. Затем для них строятся карты изолиний равных мощностей в пределах изученного контура участка. Площадь разбивается на части (участки), характеризующиеся одинаковой мощностью пласта m_i^k (т. е. пласта k в точке i). Путем планиметрирования каждого такого участка средневзвешенная по площади мощность каждого пласта определяется по формуле

$$m_{cp}^k = \frac{m_1^k F_1 + m_2^k F_2 + \dots + m_n^k F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_1^n m_i^k F_i}{\sum_1^n F_i},$$

где F_1, F_2, \dots, F_n — площади участков с одинаковой мощностью пласта.

Средневзвешенная эффективная мощность водоносного комплекса рассчитывается как сумма средневзвешенных мощностей отдельных пластов:

$$m_{cp} = m_{cp}^1 + m_{cp}^2 + \dots + m_{cp}^k = \sum_1^k m_{cp}^i.$$

При отсутствии четкой корреляции отдельных водоносных горизонтов и пластов в толще водоносного комплекса по каждой скважине определяется суммарная эффективная мощность водоносного комплекса и затем составляется карта изменения суммарной эффективной мощности. Средневзвешенная эффективная мощность определяется в этом случае по формуле

$$m_{\text{ср}} = \frac{m_1 F_1 + m_2 F_2 + \dots + m_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}.$$

Схема для определения средневзвешенной эффективной мощности водоносных пород на участке гидрогеологических исследований приведена на рис. 10.

При отсутствии в пределах участка достаточного количества скважин для составления карт равных эффективных мощностей определяется средняя арифметическая мощность водоносных пород. В некоторых случаях для оценки мощности пород используются методы экстраполяции имеющихся данных с учетом общих геологических и гидрогеологических закономерностей.

Определение полной и эффективной мощности водоносных пород имеет весьма важное значение в гидрогеологических расчетах как при оценке параметров, так и при подсчете запасов подземных промышленных вод. В частности, характеристика мощности необходима при определении коэффициентов фильтрации, проницаемости и пьезопроводности пород, при оценке несовершенства скважин по степени и характеру вскрытия водоносных горизонтов и влияния несовершенства на точность определения расчетных параметров. Мощность непосредственно входит во все формулы для подсчета эксплуатационных запасов подземных вод гидродинамическими методами.

Гидродинамические методы определения водопроводимости и пьезопроводности в отличие от других методов, которые дают возможность находить величины этих параметров лишь в отдельных точках пласта, позволяют охарактеризовать усредненные по площади параметры. Эти Методы основаны на обработке результатов наблюдений за дебитами и уровнями при откачках из поисковых и разведочных гидрогеологических скважин и за восстановлением Уровня в скважинах после прекращения откачек.

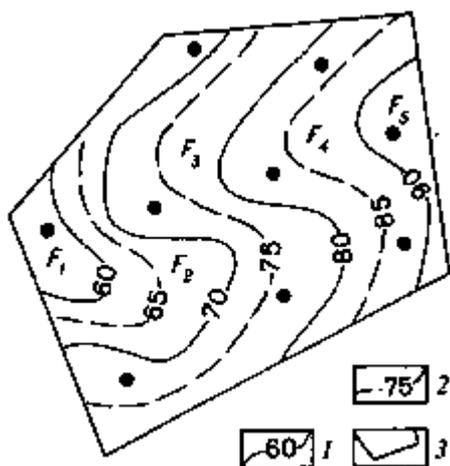


Рис. 10. Схема для определения средневзвешенной эффективной мощности водоносных пород.

Изопахиты: 1 — основные, 2 — промежуточные, 3 — контуры площади, изученной по данным бурения

Методике определения параметров водоносных пород по данным опробования глубоких скважин посвящена обширная специальная литература по гидрогеологии и нефтяной геологии. Учитывая состояние разработки этого вопроса, в настоящей книге изложены лишь основные сведения о методах гидродинамических расчетов. Основное внимание уделяется оценке влияния специфических факторов, присущих глубоким водоносным горизонтам, на точность определения характеризующих эти горизонты параметров. Как показывает опыт разведки и оценки эксплуатационных запасов подземных минеральных, термальных и промышленных вод в различных гидрогеологических районах страны, такие факторы оказывают часто значительное влияние на точность расчета параметров и, следовательно, на достоверность оценки эксплуатационных запасов.

Определение коэффициентов фильтрации, водопроводимости и пьезопроводности пород производится путем обработки результатов опытных работ на скважинах. При региональных гидродинамических построениях и оценке прогнозных эксплуатационных запасов промышленных вод основные сведения о параметрах глубоких водоносных горизонтов могут быть получены путем обработки данных опробования поисковых и разведочных скважин на нефть и газ, а также опорных скважин. Реже такие сведения могут быть получены при проведении специальных

гидрогеологических исследований, и в некоторых случаях — путем обработки данных эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Из-за отсутствия единой методики испытаний поисковых и разведочных скважин на нефть и газ получаемые в процессе опытных работ материалы характеризуются разнородностью и разной степенью достоверности. В практике газонефтепоисковых и разведочных работ применяются следующие виды опробования скважин: а) прокачка с целью разглинизации водонефтегазоносных горизонтов для обеспечения притока пластовых вод (нефти и газа) в скважину; б) кратковременные опытные выпуски из фонтанирующих скважин при разных режимах работы с целью построения индикаторных кривых для оценки продуктивности пород; в) кратковременные откачки с применением эрлифтов или глубинных насосов при отсутствии самоизлива; г) восстановление давления (уровня) после окончания опытных работ на скважинах; д) понижение давления в реагирующих скважинах (метод гидропрослушивания), выполняемое обычно на площадях детальной разведки или эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождениях.

Специальные гидрогеологические исследования проводятся с целью изучения водоносных горизонтов и комплексов при проведении поисковых и разведочных работ на месторождениях подземных промышленных вод. Основными видами таких работ являются откачки и выпуски, которые в зависимости от назначения и соответственно продолжительности квалифицируются как пробные, опытные или опытно-эксплуатационные (одиночные, кустовые и групповые). Пробными откачками (выпусками) опробуются все выделенные при бурении перспективные водоносные горизонты с целью предварительной оценки их фильтрационных свойств и изучения качества воды по показателям, определяющим ее промышленную ценность.

Опытные откачки проводят с целью определения основных гидрогеологических параметров, а также граничных условий водоносных горизонтов по их простирацию и в разрезе месторождения. Опытные откачки могут быть одиночными и кустовыми в зависимости от наличия вблизи испытываемой скважины специальных наблюдательных или соседних разведочных скважин. Опытно-эксплуатационные откачки из одной или нескольких скважин проводятся обычно в сложных геолого-тектонических и гидрогеологических условиях с целью уточнения граничных условий и параметров водоносных отложений и определения оптимальной производительности эксплуатационных скважин.

Все полученные в процессе опытных гидрогеологических работ материалы, несмотря на их разнообразие, могут обрабатываться по общему плану с использованием основных положений теории упругого режима пластовых водонапорных систем. Основой для определения параметров являются кривые снижения уровня (давления) при постоянном дебите скважин или дебита при поддержании постоянного напора, а также кривые восстановления уровня (давления) в скважинах после окончания опыта. В некоторых случаях для определения параметров могут быть использованы кривые продуктивности скважин (кривые зависимости дебита от понижения уровней). Иногда, как будет показано ниже, определение параметров с достаточной степенью точности может быть выполнено по результатам кратковременного опробования скважин.

Как известно, основным уравнением, описывающим движение упругой жидкости в упругом пласте, является дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{dS}{dt}, \quad (1)$$

которое для случая осесимметричной фильтрации имеет вид:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial S}{\partial r} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial S}{\partial t}, \quad (2)$$

Решение этого уравнения позволяет получить все необходимые расчетные формулы для определения гидрогеологических параметров и оценки эксплуатационных запасов подземных вод практически для всех поддающихся геометризации начальных и граничных гидрогеологических условий. Возможность при решении уравнения (1) использовать принцип наложения течений (суперпозиции) обеспечивает проведение расчетов в случаях работы двух и более скважин и водозаборов. Понижение в точке, вызванное действием нескольких скважин или водозаборов, определяется как сумма понижений, вызванных работой каждой (или каждого) из них.

Решением уравнения (1) в случае движения подземных вод к точечному стоку в неограниченном водоносном горизонте является следующая формула, употребляемая для гидрогеологических расчетов неустановившейся фильтрации в условиях упругого режима:

$$S = \frac{1}{4\pi km} \int_0^t \frac{Q(t) e^{-\frac{r^2}{4at}}}{t} dt. \quad (3)$$

Для наиболее распространенного случая работы скважины с постоянным дебитом формула (3) приобретает вид:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \left[-E_i \left(-\frac{r^2}{4at} \right) \right], \quad (4)$$

где S — понижение уровня; a — коэффициент пьезопроводности; t — время; r — расстояние от источника возмущения до точки, в которой определяется понижение уровня на определенный момент времени; k — коэффициент фильтрации; m — мощность водоносного горизонта; $Q, Q(t)$ — дебит точечного источника, скважины.

На практике обычно используют логарифмическое приближение функций E_i (4), которое с точностью до 5% может заменить решение (3) при соблюдении условия $r^2/4at < 1$:

$$-E_i \left(-\frac{r^2}{4at} \right) \approx \ln \frac{2,25at}{r^2}. \quad (5)$$

При этом расчетная формула для определения понижения уровня в скважине будет иметь вид:

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \ln \frac{2,25at}{r^2}, \quad (6)$$

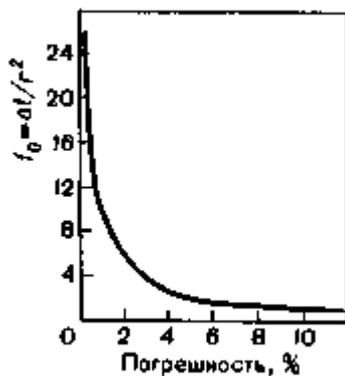


Рис. 11. Значения погрешности при замене точной формулы (4) приближенной (6)

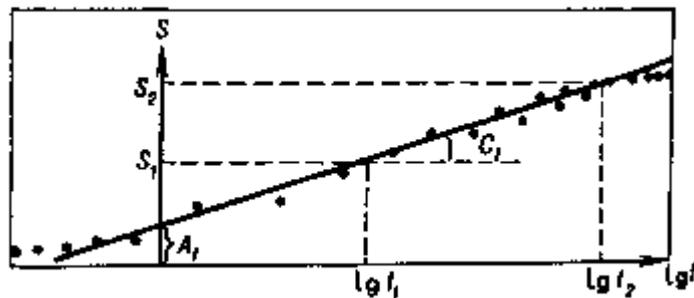


Рис. 12. График зависимости S от $\lg t$ при const

а движение подземных вод к скважинам приобретает квазиустановившийся характер, отличительной особенностью которого является одинаковый темп снижения давления (уровня) во всех точках внутри зоны фильтрации, в которой справедливым является условие $r^2/4at < 0,1$. В этой зоне кривые понижения давления (уровня) во времени перемещаются параллельно друг другу. Точность расчетов при замене экспоненциальной функции логарифмической приводится на графике (рис. 11). Используя приведенное выше условие возможности замены точной экспоненциальной функции логарифмической, можно определить время наступления и радиус зоны квазистационарного режима:

$$t_0 \geq 2,5r^2/a; \quad (7)$$

$$r_0 = 0,63 \sqrt{at}. \quad (8)$$

Расчетный радиус влияния r при неустановившемся режиме откачки с постоянным дебитом при известном коэффициенте пьезопроводности определяется по формуле

$$r_k = 1,5 \sqrt{at}. \quad (9)$$

При выводе уравнения (4) точечный сток, подразумеваемый уравнением (3), заменяется реальной скважиной с радиусом r_c . Такая замена возможна в случае, если $w_0 S/Q_t < 0,05$, т. е. когда отбираемое из скважины, площадь сечения которой равна so , количество воды пренебрежимо мало по сравнению с общим ее отбором. Это условие выполняется обычно в самый начальный период опытных работ. Тем

не менее возможность применения расчетных формул (4) и (6) с этой точки зрения следует проверять при откачках из пород с плохими коллекторскими свойствами, когда время t для выполнения условия (5) будет достигать заметной величины.

Функции $Ei(-r^2/4at)$ и $\ln 2,25at/r^2$ получили в гидрогеологической литературе название гидравлических сопротивлений и обозначаются символом R . Для удобства вычислений в формуле (6) натуральный логарифм заменяется десятичным, и она приобретает

$$S = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25at}{r^2}. \quad (10)$$

Для определения параметров водоносных пород по кривым прослеживания понижения и восстановления уровня (давления) в скважине широко используется графоаналитический метод, суть которого заключается в том, что формула (6) представляется в виде Уравнения прямой в полулогарифмических координатах. Для временного прослеживания уровня (рис. 12):

$$S = A_t + C \lg t,$$

где $C = Q/(4\pi km)$ и $A_t = C \lg(2,25at/r^2)$.

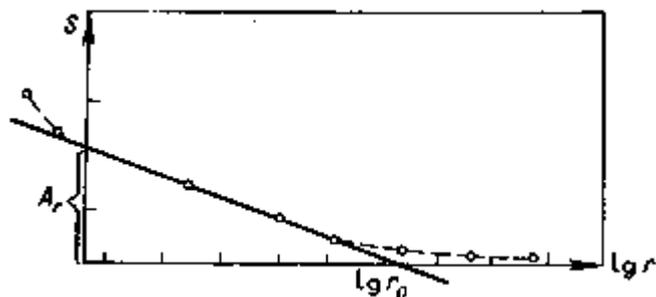


Рис. 13. График зависимости S от $\lg r$ при $Q = \text{const}$

График зависимости $S — \lg t$ при квазистационарном движении подземных вод имеет вид прямой линии с угловым коэффициентом C , отсекающей на оси абсцисс отрезок A_t . Коэффициент C определяется по координатам двух точек усредняющей прямой:

$$C = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1},$$

а коэффициент A_t снимается непосредственно с графика. В этом случае

$$km = 0,183Q/C; \lg Q = 2 \lg r - 0,35 + A_t/C.$$

При наличии двух или нескольких скважин, расположенных на разных расстояниях от возмущающей, наряду с графиками вида $S — \lg t$ целесообразно построение графиков $S — \lg r$ (рис. 13). В этом случае производится прослеживание изменения уровня в зависимости от расстояния наблюдательных скважин до центральной (возмущающей), т. е. по площади изучаемого участка. В связи с этим определение параметров по кривым $S — \lg r$ получило название способа площадного прослеживания уровней. В этом случае расчетная формула имеет вид:

$$S = A_r + C \lg t,$$

где

$$C = \frac{S_1 - S_2}{\lg r_2 - \lg r_1};$$

водопроницаемость определяется по формуле

$$km = 0,366Q/C,$$

а коэффициент пьезопроводности — по формуле $\lg Q = (2A_r/C) - 0,35 - \lg t$.

Способ комбинированного прослеживания, заключающийся в прослеживании изменения уровня во времени одновременно в нескольких наблюдательных скважинах и в построении полулогарифмических графиков вида $S — \lg t/r^2$, аналогично предыдущему, предусматривает использование расчетной формулы

$$S = A + C \lg(t/r^2).$$

Коэффициенты водопроницаемости и пьезопроводности в этом случае находят по формулам:

$$km = 0,183Q/C;$$

$$\lg a = A/C - 0,35.$$

Коэффициент C , как и ранее, определяют по координатам двух точек усредняющей кривой:

$$C = (S_2 - S_1) / \left(\lg \frac{t_2}{r_2^2} - \lg \frac{t_1}{r_1^2} \right).$$

При наличии двух наблюдательных скважин при соблюдении условия $r^2/4at < 0,1$ водопроницаемость определяется по формуле Дюпюи:

$$km = \frac{0,366Q}{S_1 - S_2} \lg \frac{r_2}{r_1},$$

где S_1 и S_2 — понижения в первой и второй наблюдательных скважинах в один и тот же момент времени; r_1 и r_2 — расстояние от центральной до тех же наблюдательных скважин.

В некоторых случаях опытные откачки или выпуски проводятся с разными дебитами, изменяющимися без остановки скважин, и таким образом откачка разделяется на два или несколько периодов. Для расчета параметров по результатам таких выпусков при двух значениях дебитов преобразованный график строится в координатах:

$$\Delta P(S) = f \left[\lg^{a_1} (t - t_1)^{a_2} \right].$$

Стоящую под знаком логарифма величину получают путем известного преобразования основного уравнения упругой фильтрации жидкости (4) и (5). Изменение дебита скважины с Q_1 на Q_2 рассматривается как результат включения в момент времени t от начала откачки в той же точке второй скважины с дебитом $Q_2 - Q_1$. Используя принцип суперпозиции, можно получить:

$$S = \frac{0,183Q_1 \lg \frac{2,25at}{r^2}}{km} + \frac{0,183(Q_2 - Q_1) \lg \frac{2,25a(t - t_1)}{r^2}}{km}. \quad (11)$$

При замене Q_1/Q_2 на a_1 и $(Q_2 - Q_1)/Q_2$ на a_2 формула (11) примет вид:

$$S = \frac{0,183Q_2}{km} \lg 2,25a \left[t^{a_1} (t - t_1)^{a_2} \right]. \quad (12)$$

Для удобства гидрогеологических расчетов и упрощения формул вводится величина приведенного времени работы скважины, кото рая определяется по формуле:

$$t_{np} = t^{a_1} (t - t_1)^{a_2}. \quad (13)$$

При соответствующей подстановке расчетная формула принимает вид:

$$S = \frac{0,183Q_2}{km} \lg \frac{2,25at_{np}}{r^2}, \quad (14)$$

где t_{np} — приведенное время, по прошествии которого в точке пласта, отстоящей от возмущающей скважины на расстояние r , было бы достигнуто понижение S , если бы скважина с самого начала работала с дебитом Q_2 .

Если в процессе откачки дебит меняется неоднократно, понижение уровня определяется по формуле, предложенной Л. С. Язвиным:

$$S = \frac{0,183Q_1}{km} \lg \left[\left(\frac{2,25a}{r^2} \right)^{1 + a_1 + a_2 + \dots + a_n} t_{np} \right], \quad (15)$$

где Q_1 — первоначальный дебит скважины; t_{np} — приведенное время работы скважины

$$t_{np} = t (t - t_1)^{a_1} \cdot (t - t_2)^{a_2} \cdot \dots \cdot (t - t_i)^{a_i} \cdot \dots \cdot (t - t_n)^{a_n}, \quad (16)$$

здесь t — полное время откачки, t_i — время i -го изменения дебита; причем $a_i = (Q_{i+1} - Q_i)/Q_i$.

Гидрогеологические параметры из формулы (14) могут быть определены рассмотренными выше графоаналитическими методами. Следует отметить, что графики прослеживания давлений (уровней) практически никогда не являются строго прямолинейными. Это объясняется целым рядом факторов, которые связаны с неравномерностью водоотбора в процессе опытных и эксплуатационных откачек; с гидродинамическим несовершенством скважин; с изменениями в процессе откачек, особенно в начальный их период, проницаемости призабойной зоны; с немгновенным прекращением притока воды в скважины после их остановок и т. д. Поэтому часто, особенно при изучении глубоких водоносных горизонтов, определение расчетных гидрогеологических параметров (в первую очередь водопроницаемости) производится по кривым восстановления уровня (давления) после остановки работающей скважины. В этом случае значительно уменьшается влияние несовершенства скважин и

их призабойной зоны; однако ощутимое влияние на ход восстановления уровней могут оказывать изменения температуры в стволе простаивающих скважин и свободно выделяющийся газ. Ниже будет показано, что влияние этих факторов может существенно исказить истинную картину восстановления давления.

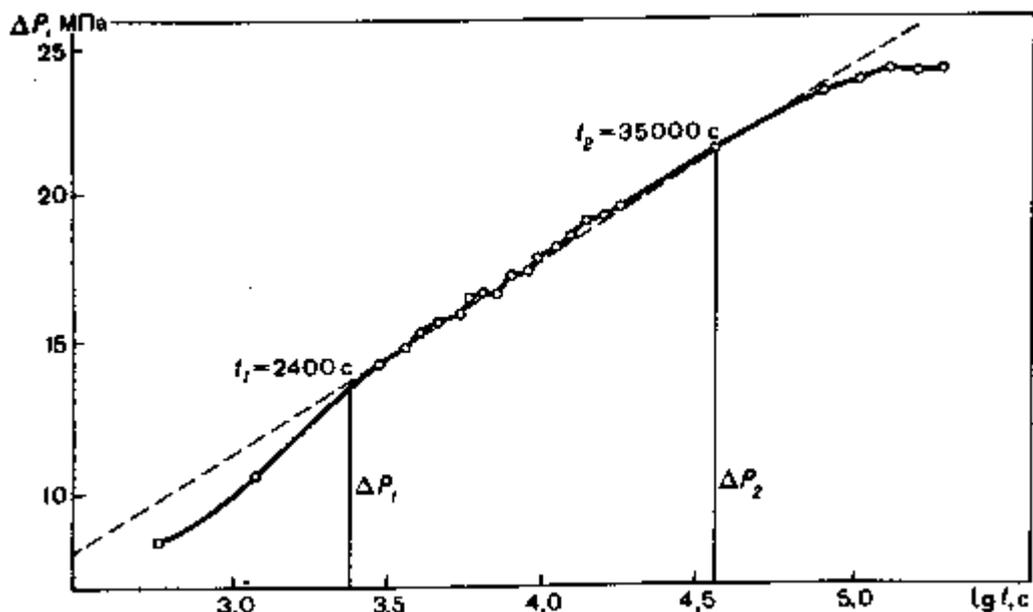


Рис. 14. График восстановления давления в скважине

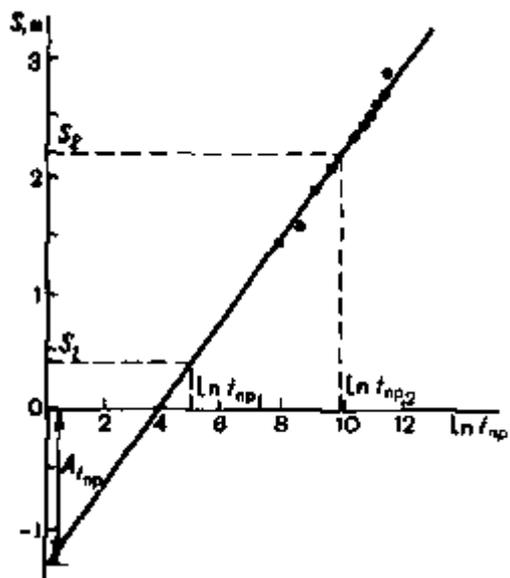


Рис. 15. График восстановления давления $S = f(\ln t_{пр})$ в наблюдательной скважине

Следуя принципу суперпозиции, можно представить остановку скважины, из которой производилась откачка, как пуск равноде-битной нагнетательной скважины. В этом случае можно определять водопродвиимость, используя рассмотренные выше решения основного уравнения упругого режима фильтрации. Учитывая продолжающееся некоторое время после остановки скважины снижение уровня в зоне влияния откачки, повышение уровня воды (давления) на любой момент времени после прекращения откачки в любой точке на расстоянии r от скважины для случая квазиустано-новившегося движения может быть выражено формулой

$$S' = \frac{0,183Q}{km} \left[-\lg \frac{T+t}{t} + \lg \frac{2,25at}{r^2} \right], \quad (17).$$

где S' — повышение уровня от динамического; T — полное время откачки с дебитом Q до момента остановки скважины.

При достаточно длительном времени откачки T по сравнению с временем восстановления уровня t в формуле (17) первый член в скобках будет пренебрежимо мал: в этом случае она становится аналогичной формуле (10) и расчет параметров можно вести уже рассмотренными методами с

использованием полулогарифмических кривых восстановления давления (рис. 14). При длительном времени восстановления уровня эти методы неприменимы, так как постепенно скорость восстановления уровня становится соизмеримой со скоростью продолжающегося его снижения под воздействием остановленной откачки. В этом случае при $t > 2,5r^2/a$ понижение уровня от статического на любой момент времени восстановления будет равно:

$$S = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{T+t}{r^2(t+T)}, \quad (18)$$

а повышение уровня от достигнутого при откачке динамического давления составит:

$$S' = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25atT}{r^2(T+t)}. \quad (19)$$

Принимая $tT/(t+T) = t_{np}$ получим

$$S' = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25at_{np}}{r^2}. \quad (20)$$

Примерный график $S = f(\ln t_{np})$ показан на рис. 15. Формула (20), как и (17), при $T > t$ может быть использована для расчетов параметров графоаналитическими методами.

Коэффициент пьезопроводности характеризует темп перераспределения пластового давления в условиях упругого режима фильтрации и зависит от проницаемости пласта (горизонта), вязкости жидкости и упругих свойств пласта и насыщающей его жидкости. Так как между проницаемостью и пьезопроводностью существует прямая зависимость, закономерности изменения пьезопроводности связаны с изменениями проницаемости горизонта. Неравномерная проницаемость водоносных пород глубоких горизонтов, особенно характерная для трещиноватых коллекторов, определяет соответственные неравнозначные результаты определения пьезопроводности таких отложений.

В пористых коллекторах со сравнительно выдержанной проницаемостью пьезопроводность в разных точках пласта, как правило, изменяется незначительно. Поэтому как при определении коэффициентов пьезопроводности, так и при подсчете средних его значений следует учитывать гидрогеологические условия залегания и характер водоносного горизонта.

Существует несколько методов определения коэффициента пьезопроводности по данным опытных откачек. Из них наиболее точными являются определения по результатам прослеживания снижения и восстановления уровня (давления) в наблюдательных скважинах при проведении кустовых откачек. В этих случаях коэффициент пьезопроводности может быть рассчитан с использованием временных, площадных и комбинированных полулогарифмических графиков прослеживания уровней.

Если замена точной формулы (4) приближенной (6) приводит к значительным погрешностям, то коэффициент пьезопроводности может быть определен методом подбора из соотношения

$$\frac{S_1(\Delta P_1)}{S_2(\Delta P_2)} = \frac{E_1(r^2/4at_1)}{E_2(r^2/4at_2)}. \quad (21)$$

Для сокращения расчетов и упрощения точного определения a из соотношения (21) используют способ построения вспомогательных графиков, как это показано на рис. 16.

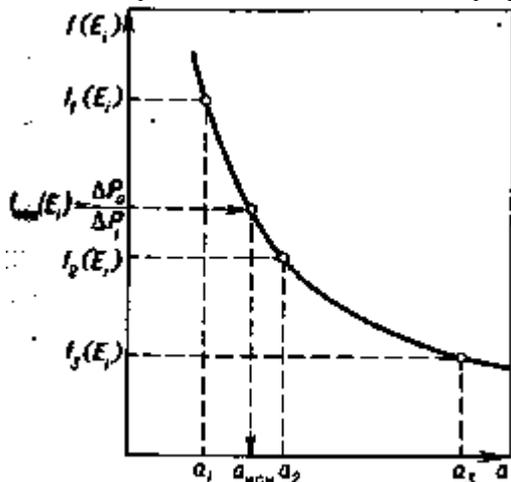


Рис. 16. Вспомогательный график для определения коэффициента пьезопроводности a

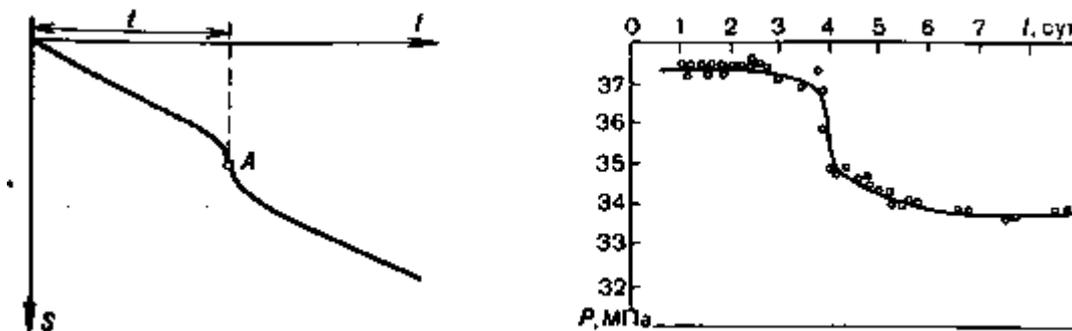


Рис. 17. Графики понижения уровня (давления) в скважине при откачке с постоянным дебитом:

а — теоретическая кривая, б — по данным фактических измерений

Известно, что после пуска возмущающей скважины с постоянным дебитом уровень (забойное давление) в наблюдательной (реагирующей) скважине остается вначале практически неподвижным. Затем начинает обнаруживаться сначала медленное, а потом все более ускоренное понижение уровня (давления) в реагирующей скважине. В некоторый момент времени t темп снижения уровня (падения давления) достигает максимальной величины, после чего непрерывно уменьшается. На графике понижения уровня (давления) во времени (рис. 17) обнаруживается характерная точка перегиба А, соответствующая моменту максимальной скорости падения давления в пласте. Это обстоятельство может быть использовано для определения коэффициента пьезопроводности по графику $S = f(t)$ понижения уровня в наблюдательной скважине.

В. Н. Щелкачевым доказано, что для точки перегиба на графике (см. рис. 17, а) справедливо следующее равенство:

$$4at = r^2, \tag{22}$$

где r — расстояние от возмущающей до реагирующей скважины. Отсюда $a = r^2/4t$. При проведении тщательных и систематических измерений уровня или давления (пластового или избыточного на устье) точку перегиба можно установить достаточно точно (см. рис. 17,б). Зависимость (22) может быть использована для решения обратной задачи — определения необходимой продолжительности откачек из куста скважин в зависимости от положения центральной и наблюдательной скважин (табл. 20).

Таблица 20

Продолжительность откачки (сут) из центральной скважины с постоянным дебитом до момента достижения максимальной скорости понижения уровня в наблюдательных скважинах в зависимости от коэффициента пьезопроводности

Расстояние между центральной и наблюдательной скважинами, м	Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут					
	10 ³	5·10 ³	10 ⁴	5·10 ⁴	10 ⁵	5·10 ⁵
200	10,0	2,0	1,0	0,2	0,1	0,02
300	22,5	4,5	2,2	0,5	0,2	0,04
500	62,5	12,5	6,3	1,2	0,6	0,12
750	140,5	28,1	14,0	2,8	1,4	0,28
1000	250,0	50,0	25,0	5,0	2,5	0,50
1500	562,5	112,5	56,2	11,3	5,6	1,12
2000	1000	200	100	20	10	2,0
2500	—	312,5	156,2	31,2	15,6	3,1
5000	—	1250	625	125	62,5	12,5
10000	—	—	250000	500	250	50

Выше рассмотрены методы определения коэффициента пьезопроводности по данным наблюдений за понижением уровней или давлений в наблюдательных скважинах при откачках из центральных (возбуждающих). Однако при разведке глубоких подземных вод вследствие больших глубин и значительной стоимости скважин устройство специальных опытных кустов не всегда целесообразно. Кроме того, близкое расположение разведочных скважин друг к другу ограничивает возможности их полного использования для последующей эксплуатации. При проведении кустовых откачек из скважин, расположенных на большом удалении одна от другой, значительно возрастает необходимое

время опытных откачек (см. табл. 20). Поэтому большой практический интерес представляют методы определения коэффициента пьезопроводности по результатам откачек из одиночных скважин.

В работе [20] изложен метод, основанный на сопоставлении и использовании результатов определения коэффициентов пьезопроводности по данным кустовых и одиночных откачек. Известно, что одним из факторов, затрудняющих определение коэффициента пьезопроводности, является так называемый «скин-эффект», характеризующий изменение водовмещающих пород в призабойной зоне скважин в процессе бурения и откачек. Такие изменения вызывают дополнительные фильтрационные сопротивления, которые влияют на абсолютные понижения уровней (давлений), но не могут быть определены и учтены в процессе опытных откачек из центральных или одиночных скважин. С учетом этих дополнительных фильтрационных сопротивлений для совершенных по степени и характеру вскрытия пласта скважин суммарная величина понижения уровня выражается формулой

$$S_n = \frac{0,183Q}{km} \left(\lg \frac{2,25at}{r_{c_1}^2} + \varphi \right), \quad (23)$$

где S_n — полное понижение уровня; r_{c_1} — приведенный радиус эквивалентной совершенной скважины; φ — дополнительное сопротивление (фактор повреждения, по Л. В. Боревскому) пласта в призабойной зоне, возникающее в результате изменения фильтрационных свойств пород вблизи стенок скважины.

Если величина φ положительная, то фильтрационные свойства пород в призабойной зоне хуже, чем в остальной части пласта, и наоборот. В сходных гидрогеологических условиях (например, в пределах разведваемого эксплуатационного участка глубоких подземных вод) при одинаковом способе бурения в начальный период опытных откачек значения дополнительного сопротивления φ должны быть близкими во всех скважинах. Это обстоятельство можно использовать для определения коэффициента пьезопроводности по результатам исследования одиночных скважин.

Согласно формулам (6) и (10), величина A (см. рис. 12), отсекаемая усредняющей кривой преобразованного графика $S - \lg t$, равна

$$A = \frac{0,183}{km} \left(\lg \frac{2,25at}{r_{c_1}^2} + \varphi \right). \quad (24)$$

Определив a по результатам наблюдений за реагирующей скважиной, расчетом определяются A' , отсекаемая на оси S графика $S - \lg t$ при дополнительных сопротивлениях, равных 0 ($\varphi=0$):

$$A' = \frac{0,183}{km} \lg \frac{2,25at}{r_{c_1}^2}. \quad (25)$$

Вычитая равенство (25) из равенства (24), получим откуда

$$A - A' = \frac{0,183}{km} \varphi,$$

$$A - A' = C\varphi$$

или

$$\varphi = \frac{A - A'}{C}.$$

Таким образом, имея данные опытной кустовой откачки и определив для сравнительно однородного участка среднее значение величины φ , можно использовать ее для нахождения коэффициента пьезопроводности по результатам одиночных откачек из скважин:

$$\lg a = 2 \lg r - 0,35 + A/C - \varphi.$$

Представляет интерес способ определения коэффициента пьезо-проводности по данным одиночных откачек из скважин, предложенный А. Г. Арье. Сущность его заключается в изучении зависимости между дебитом и понижением уровня, отражающей несовершенство скважины, при проведении серии кратковременных одиночных откачек. В целях исключения влияния возможного изменения при откачках разной производительности рабочей мощности пласта (что имеет место при наличии в разрезе пород разной проницаемости) автор способа рекомендует определять показатель интенсивности работы скважины, представляющий собой произведение понижения уровня S при заданном дебите Q скважины на водопроводимость km , определенную при том же дебите. Понижение уровня выбирается на один и тот же период времени от начала каждой из кратковременных откачек.

В результате опытных работ устанавливаются зависимости (рис. 18) $kmS = f(Q)$ и $km - f(Q)$. Имеется в виду, что касательная K к кривой $km = f(Q)$ характеризует эту зависимость при отсутствии

гидравлических сопротивлений, т. е. при $C=0$. Сравнивая значение произведения $(kmS)_ф$, полученное в процессе продолжительной откачки при дебите скважины Q , с тем же произведением, полученным без учета гидравлических сопротивлений, $(kmS)_н$, определяют показатель гидродинамического несовершенства скважины C :

$$C = \frac{(kmS)_ф - (kmS)_н}{0.183Q}$$

Коэффициент пьезопроводности при известном C определяется без особых трудностей.

К недостаткам способа А. Г. Арье следует отнести невозможность дифференциации технических и гидравлических факторов несовершенства скважин, а также отсутствие каких-либо рекомендаций по длительности проведения «продолжительной» одиночной откачки. Способ не исключает влияния на точность определения пьезопроводности граничных условий пласта, которые могут проявиться при проведении достаточно продолжительных откачек.

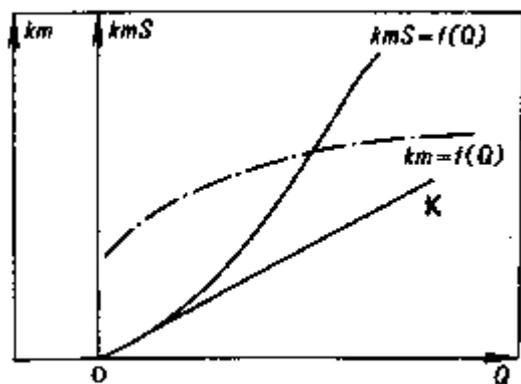


Рис. 18. Графики $km = f(Q)$ и $kmS = f(Q)$ при серии кратковременных откачек. По А. Г. Арье

Выше рассмотрены общие методы оценки расчетных гидрогеологических параметров по результатам опытных работ на скважинах в случаях, отвечающих условиям напорной фильтрации жидкости в бесконечном в плане пласте. На практике интерпретация результатов опытных работ и, следовательно, правильная оценка расчетных параметров осложняются влиянием природных гидрогеологических факторов и тех, которые обусловлены техническими условиями проведения опытных работ в спецификой подземных вод глубоких горизонтов.

К числу первых относится влияние граничных условий по простиранию водоносных горизонтов и в разрезе вскрываемых скважинами пород. Оно может проявляться в случаях близости опытных скважин к экранирующим или водопроявляющим тектоническим нарушениям, зонам выклинивания или фациального замещения водоносных отложений; в случае гидравлической взаимосвязи занимающих разное положение в разрезе водоносных горизонтов. При правильно поставленных гидрогеологических опытах такие факторы выявляются и учитываются путем корректной интерпретации полученных результатов. Методика расчета гидрогеологических параметров для таких случаев достаточно полно рассмотрена в специальной литературе, в частности, в работе [9].

Вторая группа факторов связана с гидравлическим несовершенством глубоких скважин, особенностями проведения в этих скважинах опытных гидрогеологических исследований и влиянием некоторых параметров откачки (например, дебитов), а также температур и газового фактора на точность определения понижений динамических уровней. Влияние и способы учета этих факторов рассматриваются ниже.

Специфические факторы, влияющие на точность оценки параметров глубоких водоносных горизонтов

Одним из факторов, искажающих истинную картину понижения уровней в процессе опытных откачек является несовершенство скважин по степени и характеру вскрытия водоносных горизонтов. При исследованиях глубоких подземных промышленных вод это несовершенство скважин является весьма ощутимым. Действительно, в большинстве гидрогеологических районов СССР подземные промышленные воды приурочены к мощным толщам терригенных в разной степени консолидированных отложений, и реже — к толщам пористых, трещиноватых и закарстованных пород. Большие глубины залегания промышленных водоносных горизонтов препятствуют установке фильтров, разработанных главным образом для сравнительно неглубоких скважин на пресные подземные воды. Поэтому опытное опробование глубоких скважин производится, как правило, под защитой обсадных труб и затрубного цементного кольца. Для предохранения обсадной колонны

труб от деформаций, смятия и разрыва под действием пластового давления на больших глубинах приходится ограничивать по длине интервалы перфорации обсадных труб и затрубного цементного кольца, а также количество перфорации в интервалах вскрытия водоносных горизонтов. Это приводит к несовершенству скважин как по степени, так и по характеру вскрытия водоносного горизонта (комплекса). В свою очередь, абсолютные величины падения уровней (пластовых давлений), фиксируемые в стволе (или на устье при самоизливе) работающих скважин, будут отличаться от понижения уровней и давлений в пласте на стенках скважин вследствие их несовершенства, а также нарушений призабойной зоны скважин. При этом фактическое понижение давления в пласте будет меньше замеряемого; в этом случае расчетные водопроницаемости по данным откачек будут занижены.

Дополнительное понижение уровня D_5 , вызванное несовершенством скважин, можно выразить формулой

$$\Delta S = \frac{Q}{2\pi km} (\xi_1 + \xi_2), \quad (26)$$

где ξ_1 — дополнительное сопротивление, определяемое несовершенством скважины по степени вскрытия водоносных пород; ξ_2 — то же, но по характеру вскрытия водоносных пород.

Вопросы влияния гидродинамического несовершенства скважин по степени вскрытия водоносных пород для случаев неустановившейся фильтрации подземных вод рассмотрены подробно в работах А. Л. Хайна и Н. Н. Веригина. Основным исходным уравнением для определения понижения уровня в скважине, являющейся несовершенной по степени вскрытия пласта, является уравнение вида:

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \left[-\frac{1}{2} E_i(-\alpha_0) + \xi_1(l/m; m/r; \alpha_0) \right],$$

где l — длина водоприемной части скважины;

$$\alpha_0 = r^2/4at; \quad l/m;$$

$m/r; \alpha_0$ — параметры, от которых зависит величина ξ_1 .

В случаях установившегося движения вместо экспоненциальной функции подставляется логарифмический член формулы Дюпюи $\ln r_w/r_c$.

Н. Н. Веригиным было получено общее выражение для определения ξ_1 и составлены таблицы, характеризующие эту величину для разных случаев расположения фильтров скважин в водоносных горизонтах и при различном соотношении длины фильтра и мощности этого горизонта (табл. 21). Табличные данные широко используются в практике гидрогеологических расчетов; для облегчения последних они могут быть представлены в виде номограмм. Из табл. 21 следует, что на расстояниях от оси скважин, равных 0,5 мощности водоносного горизонта, при $l > 0,1m$ несовершенство скважин пренебрежимо мало.

Гидравлическое сопротивление, обусловленное несовершенством по характеру вскрытия пласта, ξ_2 для скважин на промышленные воды определяется в основном скважностью дырчатого фильтра, сооружаемого путем перфорации обсадных труб после спуска их в скважину и цементации затрубного пространства в целях изоляции испытываемого или эксплуатируемого водоносного горизонта. Это сопротивление определяется по эмпирической формуле В. И. Щурова, полученной путем моделирования притока к скважине в лабораторных условиях:

$$\xi_2 = \frac{425}{(b + 1,5)Nd_0} - 0,6, \quad (28)$$

где b — длина пулевого канала; N — количество прострелов на 1 м фильтра; d_0 — диаметр пулевого канала.

Как следует из приведенной формулы, величина ξ_2 не зависит ни от диаметра скважины, ни от геометрии расположения отверстий. Зависимость является приближенной; в расчетах невозможно использовать точные значения b и d_0 . Однако теоретические исследования и электрическое моделирование показали хорошую сходимость результатов в области практически интересных значений входящих в нее величин. На рис. 19 показана зависимость коэффициента несовершенства ξ_2 по плотности перфорации (количество прострелов на 1 м) при диаметре отверстий $d_0 = 1$ см и глубине проникновения пуль в породу 10 см.

Таблица 21

Дополнительные сопротивления скважин для разных случаев расположения фильтров

l/m	m/r								
	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
<i>Для фильтров, примыкающих к водоупору</i>									
0,05	0,067	1,15	6,3	17,75	35,15	47,0	63,0	74,5	84,5
0,1	0,061	1,02	5,2	12,15	21,4	26,9	34,2	39,8	45,45
0,3	0,045	0,645	2,4	4,6	7,25	8,85	10,9	12,45	14,1
0,5	0,025	0,33	1,13	2,1	3,25	3,93	4,82	5,5	6,2
0,7	0,008	0,119	0,44	0,85	1,23	1,62	2,00	2,29	2,6
0,9	0,007	0,0125	0,064	0,15	0,264	0,332	0,423	0,49	0,66
<i>Для фильтров, расположенных в средней части пласта</i>									
0,1	—	0,45	2,3	6,7	16	21	28,5	35	—
0,2	—	0,4	1,6	4,6	9,5	12	16,5	20,5	—
0,3	—	0,3	1,2	3,2	5,6	7,2	9,2	10,9	—
0,5	—	0	0,6	1,5	2,45	3,15	4,05	4,3	—
0,7	—	"	0,25	0,6	0,9	1,2	1,75	2,0	—
0,9	—	»	0,0	0,0	3,25	0,3	0,4	0,5	—

Расчетные и экспериментальные данные показывают, что 15 — 20 прострелов на 1 м — это оптимальное число, поскольку дальнейшее его увеличение не приводит к заметному повышению дебита, но ослабляет колонну и удорожает скважину.

Коэффициенты несовершенства скважин ξ_1 и ξ_2 в гидрогеологических расчетах чаще всего учитываются введением в расчетные формулы вместо фактического радиуса скважины r_c приведенного радиуса эквивалентной совершенной скважины r'_c . С учетом равенства (26), принимая, что $\xi_1 + \xi_2 = C$, можно записать (по Б. С. Чернову, М. Н. Базлову и А. И. Жукову):

$$R = \ln \frac{1,5 \sqrt{at}}{r_c} + C$$

или, вводя радиус эквивалентной совершенной скважины r'_c :

$$R = \ln \frac{1,5 \sqrt{at}}{r'_c}$$

Величина r'_c может быть определена с использованием графика, приведенного на рис. 20, по формуле $r'_c = r_c / \beta$, где β — коэффициент, значение которого определяется по графику (см. рис. 20).

В общем случае дополнительное сопротивление C , характеризующее несовершенство скважин по степени и характеру вскрытия пласта, определяется следующим образом. Величину ξ_1 находят из табл. 21 или по графику, приведенному на рис. 21; ξ_2 — в такой последовательности: 1) определяют число отверстий перфорации N , равное обычно 10 — 20 на 1 м; 2) находят произведение $2Nr_c$; 3) рассчитывают коэффициент $a = doN/2r_c$, где do — диаметр пулевых отверстий (принимаемый обычно равным 1,1 см). Численное значение β определяют по графикам, один из которых приведен на рис. 19, или по формуле (28).

В качестве примера рассмотрим случай определения дополнительного понижения уровня в одиночной скважине от ее несовершенства; скважина заложена в однородном неограниченном пласте. Исходные данные для расчета следующие: $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{сут}$, расчетный срок ее действия $t = 3,65 \cdot 10^3 \text{ сут}$; $r_c = 0,1 \text{ м}$; $km = 40 \text{ м}^2/\text{сут}$; мощность пласта 40 м; $a = 10^5 \text{ м}^2/\text{сут}$; пласт вскрыт в верхней части на высоту $l = 20 \text{ м}$; $N = 20$ отверстий на 1 м; $d \ll 1 \text{ см}$; $b = 5 \text{ см}$.

Коэффициент β для условий, соответствующих $l/m = 0,5$, $m/r_c = 400$, по табл. 21 равен 4,5. Для нахождения β предварительно определяется произведение $2Nr_c$, которое равно $2 \cdot 20 \cdot 0,1 = 4$; далее $a = doN/2r_c = Q,05$; $i = b/2r_c = Q,25$. В этом случае ξ_2 равен 2,5 (определяется по графику на рис. 19). Таким образом, суммарное дополнительное сопротивление C равно 7. При $C=7$ коэффициент $\beta = 10^3$ (см. рис. 20). С учетом этого определяется радиус эквивалентной несовершенной скважины:

$$r'_c = r_c / \beta = 0,1 / 10^3 = 10^{-4}$$

Понижение уровня S в совершенной скважине равно:

$$S = \frac{Q}{2\pi km} 2,31g \frac{1,5 \sqrt{at}}{r_c} = 50 \text{ м.}$$

Понижение уровня $S_{нс}$ в несовершенной скважине определяется аналогично, но с подстановкой вместо r_c полученного значения r'_c :

$$S_{нс} = \frac{Q}{2\pi km} 2,31g \frac{1,5 \sqrt{at}}{r'_c} = 77,4 \text{ м.}$$

Таким образом, дополнительное понижение уровня в скважине за счет ее несовершенства по степени и характеру вскрытия пласта составило 27,4 м, а коэффициент несовершенства скважины оказался равным 0,73.

Потери напора в водоподъемных трубах при движении воды от пласта до устья скважины возникают за счет преодоления разного рода сопротивлений — на трение, местные сопротивления, пульсацию потока жидкости и т. д. В силу этого понижение давления или уровня, замеренное на устье скважины, будет больше, чем понижение забойного и пластового давления, на величину этих потерь. Из общей суммы потерь напора линейные потери на трение составляют около 70% (для компрессорных труб диаметром 0,05). Надо полагать, что при движении воды по обсадным трубам большого диаметра (0,122 — 0,197 м) потери напора на преодоление трения будут превалировать. Учитывая, что откачки промышленных вод происходят обычно из такого типа труб, целесообразно рассмотреть влияние на понижение устьевого давления только потерь напора на трение. Полученное понижение пластового давления при наличии таких потерь будет несколько больше истинного, а следовательно, рассчитанные по опытным данным параметры водоносных пород окажутся заниженными.

Для определения потерь напора в напорных трубопроводах, аналогом которых является скважина, целесообразно применять универсальную формулу Дарси

$$h = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ или } i = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где h — потери напора; l — длина водопроводных (водоподъемных) труб; d — внутренний диаметр труб; v — скорость течения воды в трубах; g — ускорение свободного падения; i — гидравлический уклон; λ — коэффициент сопротивления.

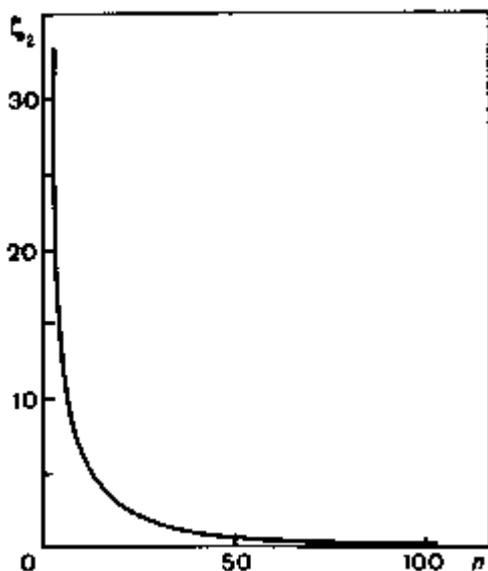
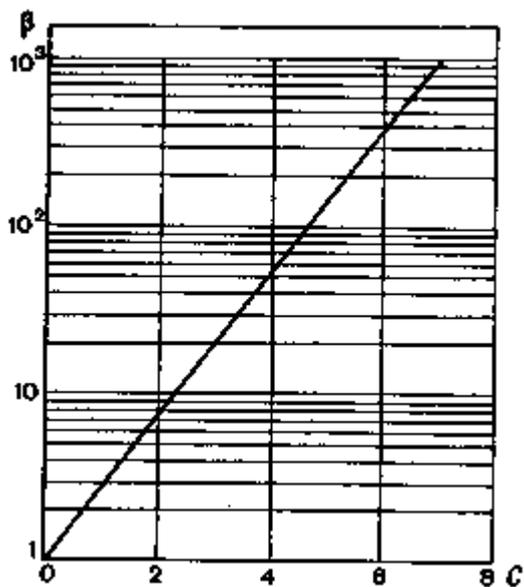


Рис. 19. График зависимости коэффициента несовершенства скважины от плотности перфорации



(прострелов)

Рис. 20. График для определения коэффициента |zeta|

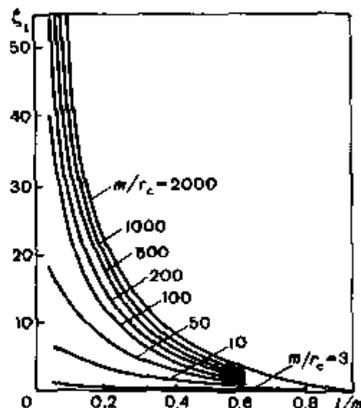


Рис. 21. График функции ξ_1 для расчета несовершенных скважин при m/r_c

Формула применима для любого вида движения — ламинарного, переходного и турбулентного.

Коэффициент Я, подсчитывается в зависимости от числа Рейнольдса Re ; как показывает опыт, независимо от характера жидкости и диаметра труб критическая величина числа Re , при которой движение теряет ламинарный характер, определяется по формуле $Re = vd/\nu$, где ν — кинематический коэффициент вязкости. При откачках и выпусках промышленных вод эта величина всегда значительно повышается, и движение происходит при переходном и, что чаще, турбулентном режиме.

Величины потерь напора на единицу длины трубопровода в зависимости от его диаметра d и скорости течения воды v приведены в табл. 22. В табл. 23 даны потери напора h на 1000 м длины водо-подъемных труб в зависимости от диаметра скважины и ее дебита. Из приведенных данных следует, что потери напора резко возрастают с увеличением скорости течения, т. е. с увеличением дебита скважины и уменьшением диаметра водоподъемных труб, и могут достигать больших величин. В силу этого понижение давления воды, замеренное на устье скважины, будет больше, чем понижение пластового давления. Поэтому коэффициент водопроницаемости, рассчитанный по методу индикаторных диаграмм с использованием замеров понижений уровней на устье скважины, будет заниженным. При расчете водопроницаемости графоаналитическим методом потери напора в трубах не оказывают влияния, так как при постоянном дебите откачки их величина во времени не меняется. Однако при расчете коэффициента пьезопроводности эту поправку надо учитывать, поскольку этот коэффициент зависит не только от темпа падения давления, но и от абсолютной величины понижения уровня.

Таблица 22

Расчет гидравлического уклона

Скорость движения воды, м/с	Гидравлический уклон i при диаметре труб (м)		
	0,122	0,144	0,197
0,1	0,000278	0,000224	0,000149
0,2	0,000934	0,00075	0,0005
0,3	0,0019	0,00153	0,00102
0,4	0,00318	0,00256	0,001705
0,5	0,00476	0,00383	0,00255
0,7	0,00875	0,00704	0,00468
0,8	0,0112	0,009	0,006
0,9	0,014	0,01128	0,00751
1,0	0,169	0,0136	0,00906
1,2	0,0236	0,019	0,01266
1,3	0,028	0,0225	0,015
1,4	0,0326	0,0262	0,01745
1,5	0,0373	0,03	0,02
1,6	0,0423	0,0341	0,0227
1,7	0,048	0,0386	0,0257
1,8	0,0537	0,432	0,0288
1,9	0,06	0,0482	0,0321
4,0	0,0664	0,0534	0,0355

Таблица 23

Потери напора $S_{пн}$ (м) на 1000 м водоподъемных труб разного диаметра

Дебит, м ³ /сут	d = 0,122 м		d = 0,144 м		d = 0,197 м	
	V , М/С	h , м	v , м/с	h , м	V , М/С	h , м
500	0,496	4,6	0,355	2,0	0,19	0,5
1000	0,990	16,6	0,71	7,2	0,38	1,55
1500	1,485	36,6	1,065	13,7	0,57	3,2
2000	1,98	65,4	1,42	27,0	0,76	5,4
2500	2,475	102,0	1,775	42,0	0,95	8,2
3000	2,97	147,1	2,13	60,6	1,14	11,55

В большинстве случаев в промышленных подземных водах содержится в том или ином количестве растворенный газ. При движении пластовой воды от забоя к устью скважины на определенной глубине, где давление становится равным давлению насыщения, газ начинает выделяться из воды. По мере дальнейшего движения воды вверх количество выделившегося из нее газа увеличивается,

достигая максимальной величины, равной газовому фактору, при атмосферном давлении, т. е. у динамического уровня. Величина давления насыщения зависит от объема растворенного в воде газа, его состава, а также от температуры и минерализации воды.

В результате того, что плотность газовой смеси меньше, чем у чистой воды, понижение уровня (или избыточного давления), замеренное на поверхности, в случае выделения газа в стволе скважины будет меньше, чем в пластовых условиях, причем эта разница зависит от газового фактора, температуры воды, ее удельного объема, давления насыщения и абсолютной величины избыточного давления.

Величина столба газовой смеси h в скважине может быть определена по формуле Е. Е. Керкиса

$$h = \frac{100}{\gamma} \left\{ \left[\left(1 - \frac{C_0 P_{0T}}{P_r} \right) (P_r - P_l) \right] + C_0 P_{0T} \ln \frac{P_r}{P_l} \right\} / S_0, \quad (29)$$

где P_r — упругость растворенного газа (давление насыщения); P_l — избыточное давление на устье, равное показанию устьевого манометра плюс атмосферное давление; P_0 — атмосферное давление; γ — плотность воды с учетом температуры и минерализации; C_0 — газовый фактор в нормальных условиях; T — температурный коэффициент, равный $1 + t/273$; t — температура воды в верхней части работающей скважины.

Дополнительное понижение напора ΔS_r за счет газовых факторов в пластовых условиях по сравнению с замеренным на устье будет равно разнице в высоте столба газированной и негазированной жидкости:

$$\Delta S_r = \frac{100(P_r - P_l)}{\gamma} - h$$

или с учетом выражения (29)

$$\Delta S_r = \frac{100 C_0 P_{0T}}{\gamma} \left(\frac{P_r - P_l}{P_r} - \ln \frac{P_r}{P_l} \right).$$

Истинное понижение напора S , соответствующее снижению забойного давления $\Delta P_{заб}$, будет:

$$S = \frac{100 \Delta P_{заб}}{\gamma} - \Delta S_r,$$

а само понижение забойного давления

$$\Delta P_{заб} = \Delta P_{изб} - C_0 P_{0T} \left(\frac{P_r - P_l}{P_r} - \ln \frac{P_r}{P_l} \right).$$

При отсутствии самоизлива $P_l = P_0 \sim 0,1$. Величина ΔS достигает при этом максимального значения:

$$S_{max} = \frac{100 C_0 T}{\gamma} \left(\frac{P_r - 1}{P_r} - \ln P_r \right). \quad (30)$$

Во всех случаях, когда имеет смысл учитывать наличие в воде растворенного газа, $P_r > 1$, и тогда вместо зависимости (30) получим

$$\Delta S_{max} = \frac{100 C_0 T}{\gamma} (1 - \ln P_r). \quad (31)$$

Таблица 24

результаты определения ΔS

P_l , МПа	$C_0 = 0,8$		$C_0 = 1,0$		$C_0 = 1,2$		$C_0 = 1,4$	
	P_c , МПа	AS, м						
1	50	29,7	68	40,7	82	51,7	97	63,5
2	50	22,8	68	32,2	82	41,4	97	51,5
3	50	19	68	27,2	82	35,6	97	44,5
4	50	16,2	68	23,4	82	41,4	97	39,3
5	50	14	68	21,1	82	28,2	97	35,8
6	50	12,5	68	19	82	25,6	97	32,6
7	50	11,1	68	17,3	82	23,5	97	30,1

В табл. 24 приведены результаты расчетов величины ΔS в зависимости от C_0 и P_l для условий одного из месторождений промышленных вод ($\gamma = 0,988$ г/см³ и $T = 1,25$). Значение ΔS увеличивается быстрее, чем значение газового фактора. При сравнительно больших значениях C_0 скважина, статический уровень которой был ниже поверхности земли, после возбуждения может стать самоизливающейся; еще чаще наблюдаются отрицательные значения депрессии устьевого давления непосредственно после пуска скважины. Таким образом, расчет параметров без учета ΔS_r по формулам установившегося движения становится вообще невозможным, а графоаналитическим методом во всех случаях будут получены сильно завышенные значения коэффициента водопроницаемости вследствие резкого замедления темпа снижения

устьевого давления за счет выделения газа в свободное состояние на глубине, соответствующей глубине давления насыщения.

Одним из факторов, искажающих представление об истинных величинах понижений динамических уровней в глубоких скважинах, является изменчивость плотности минерализованных вод под влиянием увеличения или уменьшения температуры. Изменение температуры, а следовательно, и плотности воды по стволу скважины определяется величиной геотермического градиента и температуры у поверхности земли в пределах пояса сезонных температур. В период, когда скважина находится в покое, разница температур (и плотности) воды в пласте и у статического уровня (или на устье скважины) будет максимальной. В процессе откачки температура воды на устье будет зависеть от пластовой температуры и скорости движения воды по стволу скважины, т. е. от ее дебита (рис. 22).

Если скважина, вскрывшая промышленные высокотемпературные воды, простаивала в течение достаточно длительного времени, то температуры по ее стволу распределяются в соответствии с характерным для данного района температурным градиентом, за исключением самой верхней части, подверженной влиянию суточных и сезонных колебаний температур.

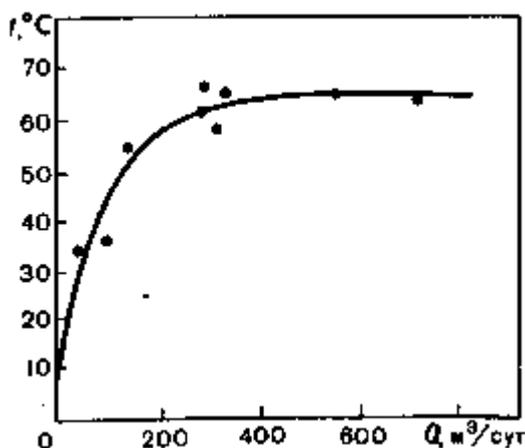


Рис. 22. График фактического изменения температуры воды на изливе в зависимости от дебита скважин

Как показывает опыт, в большинстве случаев это распределение подчиняется закону прямой линии. Поскольку плотность воды зависит от температуры, причем в практически интересных интервалах температур эта зависимость не сильно отличается от прямолинейной, можно с достаточной точностью написать следующее выражение, связывающее забойное и устьевое (избыточное) давления:

$$P_{0 \text{ заб}} = P_{0 \text{ изб}} + H Y_{\text{ср}} / 100, \quad (32)$$

где $P_{0 \text{ заб}}$ — статическое забойное давление; $P_{0 \text{ изб}}$ — статическое избыточное давление; H — высота столба воды в скважине; $Y_{\text{ср}}$ — средняя плотность воды в стволе скважины. При этом $Y_{\text{ср}} = (Y_{\text{пл}} + Y_{\text{ст}}) / 2$, где $Y_{\text{пл}}$ — плотность воды в пластовых условиях; $Y_{\text{ст}}$ — плотность воды у устья простаивающей скважины.

При пуске скважины по мере прогревания окружающих пород в скважине устанавливается новый температурный режим, зависящий главным образом от дебита и диаметра скважины. Опыт исследований в Западной Сибири и других районах страны показал, что уже при сравнительно небольших дебитах (400 — 500 м³/сут) устьевая температура быстро стабилизируется и в дальнейшем остается практически постоянной.

Учитывая сказанное, можно записать следующее выражение для определения забойного давления в процессе работы скважины

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{изб}} + H Y_{\text{ср}} / 100, \quad (33)$$

где $Y_{\text{ср}} = (Y_{\text{дин}} + Y_{\text{пл}}) / 2$; $P_{\text{заб}}$ — текущее забойное давление; $P_{\text{изб}}$ — текущее избыточное (устьевое) давление; $Y_{\text{дин}}$ — плотность воды на устье изливающей скважины в момент определения забойного давления.

Отсюда выражение для определения понижения забойного давления $\Delta P_{\text{заб}}$ через величину устьевой депрессии $\Delta P_{\text{изб}}$ можно получить, вычтя выражение (33) из (32):

$$\Delta P_{\text{заб}} = \Delta P_{\text{изб}} + \frac{H}{200} (Y_{\text{ст}} - Y_{\text{дин}}). \quad (34)$$

Из выражения (34) видно, что при определенных условиях — высокой проницаемости пород, больших величинах H и разности $T_{\text{ст}} - T_{\text{дин}}$ — депрессия устьевое давления может оказаться отрицательной и скважина, статический уровень которой был ниже поверхности земли, после возбуждения может фонтанировать. Это явление было названо Э. Б. Чекалюком «термолифтом».

Понижение напора (м), приведенное к пластовым условиям $S_{\text{пл}}$, выражается следующим образом:

$$S_{пл} = \frac{100 \Delta P_{звб}}{\gamma_{пл}} = \frac{100 \Delta P_{звб}}{\gamma_{пл}} + H \frac{\gamma_{ст} - \gamma_{дин}}{2\gamma_{пл}}. \quad (35)$$

В случае отсутствия самоизлива понижение напора в пластовых условиях определяется по следующей формуле:

$$S_{пл} = \frac{H_0 \gamma_{ст}}{\alpha_{пл}} - \frac{H^1 \gamma_{ст}}{\gamma_{пл}}, \quad (36)$$

где Y_0 — столб воды в скважине в статических условиях; Y^1 — то же при работе скважины.

Преобразуя выражение (35) с учетом зависимостей (32) и (33), получим

$$S_{пл} = S_{уст} + \frac{H_0}{2} \cdot \frac{\gamma_{ст} - \gamma_{дин}}{\gamma_{пл}}. \quad (37)$$

Учитывая, что $u_{пл}$ и $\gamma_{дин}$ мало отличаются по значениям, так как очень близки температуры, можно с точностью до 1 % принять

$$(\gamma_{ст} + \gamma_{дин}) / 2\gamma_{пл} \approx 1.$$

Отсюда

$$S_{пл} = S_{уст} + \frac{H_0}{2} \cdot \frac{\gamma_{ст} - \gamma_{дин}}{\gamma_{дин}}, \quad (38)$$

где $S_{уст}$ — понижение уровня, замеренное на устье скважины.

Формулы (37) и (38) позволяют определить понижение забойного давления или напора по результатам замеров на устье скважин независимо от того, установился температурный режим в ней или нет.

В табл. 25 приведены значения дополнительной величины пони-гидростатического напора жения

$$\left(\Delta S_t = \frac{H_0}{2} \frac{\gamma_{ст} - \gamma_{дин}}{\gamma_{дин}} \right)$$

по сравнению с $S_{уст}$; для условий Тюменского месторождения подземных вод. Во многих случаях эти величины (ΔS_t , $S_{уст}$) оказываются не только соизмеримыми, но и весьма близкими между собой. Поэтому ошибки в определении параметров по формулам установившегося движения могут быть очень велики (табл. 26).

Таблица 25

Расчетные величины поправок к понижению уровня

$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$t_{дин}, ^\circ\text{C}$	$\gamma_{ст}, \text{г/см}^3$	$\gamma_{дин}, \text{г/см}^3$	$\gamma_{ст} - \gamma_{дин}, \text{г/см}^3$	$\Delta S_t, \text{ м, при } H, \text{ м}$	
					1000	1600
3	50	1,0155	1,0016	0,0139	6,9	11,1
	55		0,9993	0,0162	8,1	13
4	60	1,0144	0,9967	0,0188	9,4	15
	65		0,9948	0,0307	10,4	16,8
	70		0,9928	0,0227	11,3	18,1
	50		1,0016	0,0128	6,4	10,2
	55		0,9993	0,0151	7,5	12,1
10	60	1,0125	0,9967	0,0177	8,8	14,2
	65		0,9948	0,0196	9,8	15,7
	70		0,9928	0,0216	10,8	17,3
	50		1,0018	0,0109	5,5	8,7
	55		0,9993	0,0132	6,6	10,5
20	60	1,0125	0,9967	0,0158	7,9	12,6
	65		0,9948	0,0177	8,9	14,2
	70		0,9928	0,0197	9,8	15,8

Таблица 26

Результаты расчета коэффициента фильтрации (м/сут) по скважинам Тобольского района Тюменской области

Номер скважины	Без учета разности температур	С учетом разности температур
8-РГ	1,30	0,76
10-РГ	0,40	0,28
12-РГ	1,70	0,54
14-РГ	1,48	0,18

Среднее	1,22	0,44
---------	------	------

С учетом всех поправок в общем виде величина понижения давления и уровня воды в скважине может быть выражена следующим образом:

$$\Delta P_{\text{пл}} = \Delta P_{\text{уст}} + \frac{S_r \gamma}{100} + \frac{S_{t_2} \gamma}{100} - \frac{S_{\text{п.н.}} \gamma}{100} + \frac{2\pi km}{Q} \ln \frac{r_c'}{r_0}, \quad (39)$$

$$S_{\text{пл}} = S_{\text{уст}} + S_r + S_{t_2} = S_{\text{п.н.}} + \frac{2\pi km}{Q} \ln \frac{r_c'}{r_0}. \quad (40)$$

При откачке с постоянным дебитом величины $S_{\text{п.н.}}$ и $2\pi km/Q \ln r_c'/r_0$ являются константами. Следовательно, приращение понижения, которое и используется при оценке параметров, выразится так:

$$\Delta S_{\text{пл}} = S_{\text{уст}} + S_r + \Delta S_{t_2}, \quad (41)$$

где $\Delta S_r = S_{r2} - S_{r1}$; $\Delta S_{t_2} = S'_{t_2} - S'_{t_1}$; S_{r1} и S_{r2} — поправки к понижению за счет выделяющегося газа при давлениях на устье; S'_{t_2} и S'_{t_1} — температурные поправки к понижению при устьевых температурах t_2 и t_1 .

При стабилизации температуры на устье исчезает и соответствующий член формул (39) и (40).

Из приведенных выражений следует, что если пластовая вода содержит растворенный газ, то темп снижения устьевого давления по сравнению с забойным будет существенно замедленным. Если не учитывать это явление, то значения водопродимости окажутся завышенными. Остальные дополнительные члены формул (39) и (40) существенного влияния на этот показатель не имеют, однако их следует учитывать при расчетах коэффициента пьезопроводности и приведенного радиуса, вводя соответствующие поправки.

Описанные явления, а также индивидуальные конструктивные особенности и техническое состояние каждой глубокой скважины значительно затрудняют чтение графиков изменения пластовой депрессии, построенных по результатам измерения устьевых давлений. В некоторых случаях форма графиков $\Delta S_{\text{уст}} = f(t)$ настолько сложна, что не позволяет с уверенностью выбрать участок, характеризующий падение пластового давления, вызванное работой скважины.

Надежным критерием для определения правильности найденной величины водопродимости является соответствие ее начальному удельному дебиту. Как известно, величина водопродимости связана прямой зависимостью с удельным дебитом гидродинамически совершенной скважины. Однако выше указывалось, что степень несовершенства скважин определяется, с одной стороны, конструкцией и положением фильтра относительно эксплуатируемого пласта, с другой — состоянием прифилтровой зоны. В связи с этим целесообразно использовать зависимость водопродимости от удельных дебитов по тем скважинам, по которым определение этих величин не вызывает затруднений. При этом в качестве удельного дебита следует использовать не фактический удельный дебит, а приведенный к условиям эквивалентной совершенной скважины с учетом всех указанных выше поправок.

Согласно уравнению Дюпюи,

$$km = 0,366q \lg(r_k/r_c). \quad (42)$$

Это же уравнение для эквивалентной по дебиту совершенной скважины запишется в виде

$$km = 0,366q \lg(r_k/r_c'), \quad (43)$$

где r_k — приведенный радиус влияния, который рассчитывается по формуле (9).

Выражение для приведенного удельного дебита получим делением зависимости (42) на (43):

$$q_0 = q \frac{\lg r_k - \lg r_c'}{\lg r_k - \lg r_c},$$

где q — фактический удельный дебит скважины на время t от начала откачки с учетом поправок на газ, температуру и потери напора в трубах; q_0 — приведенный удельный дебит; r_c' — приведенный радиус эквивалентной совершенной скважины.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РЕСУРСОВ И ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время о ресурсах и запасах подземных вод сложились достаточно четкие

представления, хотя вопрос о классификации их остается в значительной степени дискуссионным. Из последних наиболее подробных классификаций запасов подземных вод следует отметить классификацию Н. М. Фролова и Л. С. Язвина, в которой запасы вод подразделяются по всем возможным признакам.

Хотя принципы классификации являются едиными для всех типов подземных вод, но для вод глубоких горизонтов имеется некоторая специфика, связанная с особенностями их формирования. Дело в том, что если для пресных подземных вод основное значение имеет формирование самой массы воды, то для глубоких вод помимо массы воды столь же существенное значение имеет накопление полезных компонентов в промышленных водах, источник температуры (теплового потенциала) в теплоэнергетических водах, формирование газовой составляющей и бальнеологически активных элементов в минеральных водах. Процессы, приводящие к обогащению подземных вод полезными компонентами или их нагреву, обычно имеют геологическую продолжительность. Эту особенность глубоких подземных вод существующие классификации не учитывают или учитывают в недостаточной степени. Большинство классификаций базируется на генетической основе, и при всех терминологических различиях по смыслу они достаточно близки друг другу.

Запасы подземных вод как полезного ископаемого принято подразделять на естественные запасы и естественные ресурсы. В связи с народнохозяйственным использованием подземных вод было введено понятие «эксплуатационные запасы». Интенсивная эксплуатация подземных вод выявила необходимость введения понятий об искусственных запасах и привлекаемых ресурсах. Кратко рассмотрим содержание перечисленных понятий, причем рассмотрение начнем с эксплуатационных запасов, так как другие виды запасов и ресурсов служат источниками обеспеченности эксплуатационных запасов, а количественная оценка последних является конечной целью геологоразведочных работ.

Эксплуатационные запасы подземных вод представляют собой количество вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования ее в народном хозяйстве в течение расчетного срока водопотребления. Эксплуатационные запасы выражаются в объемных расходах воды ($\text{м}^3/\text{сут}$). Кроме того, для промышленных вод подсчитываются запасы полезных компонентов (в тоннах за расчетный срок эксплуатации), а для теплоэнергетических вод — массовые расходы пароводяной смеси ($\text{т}/\text{сут}$) и теплоэнергетическая мощность (ГДж, Мвт, т). Если промышленные подземные воды обладают высоким теплоэнергетическим потенциалом, подсчитывается и то, и другое.

Эксплуатационные запасы на месторождениях различного типа обеспечиваются естественными запасами и ресурсами, искусственными запасами и привлекаемыми ресурсами.

Естественные запасы следует рассматривать как массу подземных вод, заключенных в поровом пространстве продуктивных водоносных горизонтов внутри контура месторождения (участка), которая может быть высвобождена за счет гравитационных сил. Полная масса воды в поровом пространстве продуктивных горизонтов представляет собой геологические запасы, т. е. массу воды с учетом ее полезных свойств, сформированную за геологическое время. Геологические запасы включают и так называемые упругие запасы, высвобождающиеся из порового пространства при частичной или полной сработке пластового давления. В случае снижения уровня ниже кровли продуктивного комплекса может быть извлечена гравитационная масса воды, определяемая коэффициентом водоотдачи и объемом осушенных водовмещающих пород. Эта масса воды также является частью геологических запасов и может быть названа емкостными запасами. Следовательно, естественные запасы, участвующие в формировании эксплуатационных запасов подземных вод, складываются из упругих и в некоторых случаях емкостных запасов.

Следует отметить, что если естественные запасы пресных вод (масса воды и горизонта) могут возобновляться, то естественные запасы минеральных, теплоэнергетических и промышленных вод в артезианских бассейнах, как правило, не возобновляются. Естественные ресурсы являются источником питания водоносного горизонта в ненарушенных эксплуатацией условиях и выражаются в расходах воды ($\text{л}/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{сут}$). Естественные ресурсы являются основным источником обеспеченности эксплуатационных запасов месторождений минеральных и теплоэнергетических вод III группы. Для теплоэнергетических вод следует учитывать естественные ресурсы тепла (тепловой поток), участвующие в формировании теплового потенциала месторождения.

Искусственные запасы возникают при разработке продуктивных горизонтов на месторождениях промышленных вод с обратной закачкой, использованных (отработанных) вод. Их следует понимать как дополнительное количество воды (полезных компонентов), которое может быть получено из

продуктивного горизонта, в сравнении с вариантом разработки без применения обратной закачки.

Привлекаемые ресурсы — это дополнительное питание (водное) продуктивного горизонта в нарушенных эксплуатацией условиях. К привлекаемым ресурсам следует относить перетекание из смежных горизонтов, отжатие воды из глин, активизацию притока глубинной составляющей при снижении уровня, усиление инфильт-рационного питания и др.

Соотношение между эксплуатационными запасами и источниками их обеспеченности может быть представлено следующим выражением:

$$Q_3 = \frac{aV_e}{t} + bQ_e + \frac{cV_n}{t} + Q_{np},$$

где Q_3 — эксплуатационные запасы; Q_e и Q_{np} — естественные и привлекаемые ресурсы; V_e и V_n — естественные и искусственные

запасы; a, b, c , — коэффициенты использования соответственно естественных запасов и ресурсов, искусственных запасов; t — срок эксплуатации месторождения.

В заключение отметим, что методы количественной оценки перечисленных источников обеспеченности эксплуатационных запасов минеральных, термальных и промышленных вод пока разработаны в недостаточной степени и в этом направлении проводятся интенсивные исследования.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАПАСЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ

Из всех ранее перечисленных видов запасов и ресурсов официально подсчитываются и учитываются эксплуатационные запасы всех типов подземных вод. Утвержденные ГКЗ СССР или ТКЗ эксплуатационные запасы являются основой для разработки схем развития отраслей народного хозяйства, добывающих и потребляющих подземные воды; для составления годовых, пятилетних и долгосрочных государственных планов экономического и социального развития СССР, проектирования водозаборных сооружений и предприятий, использующих подземные воды (курорты, бальнеолечебницы, геотЭС, тепличные комбинаты, заводы по извлечению полезных компонентов и др.).

Эксплуатационные запасы оцениваются по результатам разведочных гидрогеологических работ и на основании наблюдений при эксплуатации действующих водозаборов подземных вод.

Помимо эксплуатационных запасов в некоторых случаях оцениваются прогнозные ресурсы, которые отражают потенциальные эксплуатационные возможности артезианских бассейнов, гидрогеологических массивов, отдельных регионов. Они подсчитываются, как правило, на основе имеющейся геолого-гидрогеологической, геофизической и другой информации с использованием специальных методических приемов и отражаются на специальных мелкомасштабных картах совместно с эксплуатационными запасами. В государственном балансе они не учитываются, но используются при долгосрочном планировании поисково-разведочных работ на минеральные, термальные и промышленные воды, разработке генеральных схем их использования в народном хозяйстве, обосновании постановлений директивных органов.

Согласно действующей классификации [23] эксплуатационные запасы подразделяются по степени изученности и народнохозяйственному значению. По степени изученности эксплуатационные запасы подразделяются на разведенные и предварительно оцененные.

Разведенные запасы делятся на три категории А, В и С, в зависимости от степени изученности геологического строения и гидрогеологических условий месторождения, надежности определения расчетных гидрогеологических параметров и достоверности прогноза качества воды на расчетный срок эксплуатации, а также с учетом обоснованности источников восполнения. Запасы категорий А, В и С₁ служат основанием для проектирования водозаборных сооружений и предприятий по их использованию и для выделения капитальных вложений на строительство. Предварительно оцененные запасы относятся к категории С₂ и подсчитываются для оценки перспектив месторождения по весьма ограниченному фактическим данным, они подлежат утверждению одновременно с запасами категорий А, В и С₁, но при проектировании не учитываются.

По народнохозяйственному значению эксплуатационные запасы подразделяются на две группы — балансовые и забалансовые. Балансовые запасы могут использоваться в настоящее время или в ближайшей перспективе при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике и технологии добычи и переработки воды с обеспечением необходимых мер в соответствии с требованиями по использованию и охране недр и окружающей природной среды. Забалансовые запасы не могут быть вовлечены в сферу рентабельного народнохозяйственного использования по

техническим, технологическим или экономическим причинам. Однако в перспективе должна существовать принципиальная возможность перевода их в балансовые. Балансовые и забалансовые запасы подсчитываются и учитываются раздельно. Для забалансовых запасов указывается причина их отнесения к забалансовым. Учитываются эти запасы при доказанности возможности их последующего использования, т. е. перевода в балансовые.

По степени изученности месторождений решается вопрос о Подготовленности их к промышленному освоению. Количественным выражением степени изученности служит соотношение запасов Категорий А, В и С₁. Подготовленными к промышленному освоению ритаются месторождения, если утвержденные балансовые запасы подземных вод с учетом группы сложности месторождения имеют следующее соотношение запасов категорий А, В и С₁ (табл. 27).

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Эксплуатационные запасы подземных вод в указанном выше понимании определяются путем расчета водозаборов, т. е. суммарного дебита группы соответствующим образом расположенных скважин, каждая из которых имеет определенный дебит и понижение динамического уровня воды в течение расчетного срока эксплуатации при сохранении качества воды, удовлетворяющего кондиционным требованиям. При расчете водозаборов подземных вод необходимо: а) обосновать расчетную гидрогеологическую схему; б) определить размеры эксплуатационного участка, т. е. участка водозабора; в) обосновать рациональную схему расположения скважин в пределах эксплуатационного участка; г) обосновать режим работы (дебитов и понижений динамических уровней) скважин водозабора в течение расчетного срока эксплуатации. Схематизация природных гидрогеологических условий месторождения подземных промышленных вод при выполнении аналитических гидродинамических расчетов (включая расчеты на ЭЦВМ), а также аналогового гидрогеологического моделирования имеет весьма важное значение для правильной достоверной оценки эксплуатационных запасов. Такая схематизация предусматривает обоснование границ промышленной водоносной зоны по простиранию, а также в разрезе месторождения. Для выполнения аналитических гидродинамических расчетов природные гидрогеологические условия должны приводиться к сравнительно простым расчетным схемам; использование аналогового моделирования позволяет в некоторых случаях более точно учесть природную обстановку за счет усложнения расчетной гидрогеологической схемы. Для аналитических гидрогеологических расчетов различные плановые границы в пласте схематизируются в виде системы прямолинейных или круговых контуров, на которых задается либо постоянный напор (контуров постоянного напора), либо постоянный расход (контуров постоянного расхода), для глубоких водоносных горизонтов часто равный нулю. При неоднородном строении пласта (горизонта или комплекса) границы, разделяющие зоны с различными фильтрационными свойствами, также приводятся к контурам прямолинейной или круговой формы.

Таблица 27

Балансовые запасы подземных вод в зависимости от группы сложности месторождения

Группа	Категория запасов, %		
	А + В	В том числе А не менее	С ₁
1	80	40	20
2	80	20	20
3	70	—	30

В расчетных схемах для оценки эксплуатационных запасов подземных вод задаются начальные и граничные условия, а также параметры пласта. Начальные условия — это условия распределения пьезометрических напоров (пластовых давлений) перед началом или изменением режима эксплуатации водоносного горизонта или комплекса, т. е. условия, отвечающие состоянию установившегося (или близкого к установившемуся) движения подземных вод. Граничные условия характеризуют условия питания (и стока) на внутренних и внешних границах потока в плане и разрезе месторождения. Условия на внутренних границах (водозабор) задаются в виде функций

дебита Q или напора Y во времени, например, $Q=\text{const}$; $H=\text{const}$; $Q=f(t)$. Условия на внешних границах задаются для аналитических расчетов обычно в виде следующих схем граничных условий в плане (рис. 23).

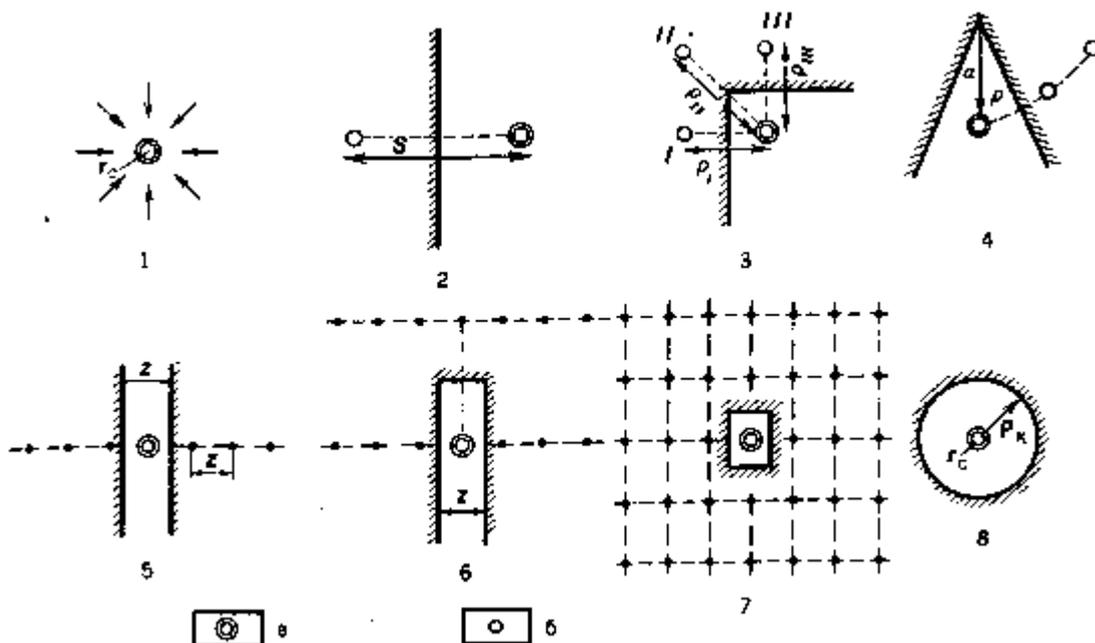


Рис. 23. Схематизация гидрогеологических условий для оценки эксплуатационных запасов промышленных подземных вод:

1 - неограниченный пласт; 2 - полуограниченным пласт; 3 - пласт-квадрат, 4 - пласт-клин; 5 - пласт-полоса; 6 - пласт-полуполоса; 7 - пласт-прямоугольник; 8 - пласт-круг; a - расстояние между водоупорами; водозабор: а - реальный, б — отображенный

1. Если водоносный горизонт имеет в плане настолько большие размеры, что влияние эксплуатации водозабора в течение расчетного срока на его границах практически не проявляется, то такой пласт принимается бесконечным в плане. Эта схема получила название неограниченного пласта.

2. Если пласт ограничен в плане одним прямолинейным контуром, то такую схему называют полуограниченным пластом. В этом случае возможны два типа условий: а) на границе пласта задается постоянный напор; б) на границе пласта задается постоянный расход, который в частном случае для непроницаемой границы равен нулю.

3. Пласт ограничен в плане с двух соседних сторон прямолинейными контурами, пересекающимися под прямым углом (пласт-квадрат). В этих условиях возможны три типа расчетных схем: а) на обоих контурах напор постоянный $H=\text{const}$; б) на обоих контурах задан постоянный расход $Q=\text{const}$ (в частном случае $Q=0$); в) на одном контуре имеет место постоянный расход (в частном случае $Q=0$), на другом — постоянный напор.

4. Пласт ограничен двумя прямолинейными параллельными контурами (пласт-полоса); на двух параллельных границах пласта принимаются три условия, указанные выше для пласта-квадрата.

5. Пласт ограничен с трех сторон перпендикулярными границами (пласт-полуполоса); на границах задаются те же условия ($Q=\text{const}$, $Q=0$ или $H=\text{const}$) в любом их сочетании.

6. Пласт ограничен со всех сторон четырьмя перпендикулярными прямолинейными границами, на каждой из которых задается то или иное из указанных условий.

7. Пласт ограничен со всех сторон контуром, который может быть с достаточной для практических расчетов точностью приведен к круговому по принципу равенства площадей (пласт-круг); на границах кругового контура могут задаваться условия постоянного напора ($Y=\text{const}$) или постоянного расхода ($Q=\text{const}$ - $Q=0$).

Следует отметить, что все перечисленные схемы пласта имели место при оценке запасов подземных промышленных вод в различных районах СССР. Наиболее сложные расчетные гидрогеологические схемы принимались для месторождений, характеризующихся сложной тектоникой и наличием разрывных нарушений. При этом иногда в пределах одного эксплуатационного участка выделялись блоки, по своей конфигурации отвечавшие большинству из перечисленных схем.

Граничные условия в разрезе месторождений для наиболее часто встречающихся случаев в практике разведки и оценки запасов глубоких подземных вод схематизируются в виде напорного

водоносного пласта с непроницаемой кровлей и подошвой. В этих случаях обычно используются гидродинамические решения для плоской плановой фильтрации подземных вод. Однако встречаются случаи, когда эксплуатируемый напорный водоносный пласт отделяется от выше- и нижезалегающих водоносных горизонтов слабыми водоупорами, не исключающими фильтрации при снижении пластового давления (пьезометрического напора) в эксплуатируемом. В этих случаях рассматривается и при необходимости учитывается гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов (перетекание). Иногда водоупорная кровля или подошва на отдельных участках месторождения в зоне влияния водозабора отсутствует, в связи с чем возможна прямая гидравлическая связь между соседними в разрезе водоносными горизонтами. При обосновании расчетной гидрогеологической схемы необходимо также учитывать разгрузку подземных вод в виде источников (или самоизлив пластовых вод из ранее пробуренных скважин).

Схематизация условий разработки месторождений при подсчете эксплуатационных запасов заключается в том, что скважины расчетного водозабора располагаются в виде удобных для выполнения гидродинамических или гидравлических расчетов правильных геометрических систем. К таким системам относится расположение скважин в виде одного или нескольких параллельных рядов (в частном случае — прямоугольная сетка) скважин; в виде двух линейных рядов скважин, образующих между собой некоторый угол (в частном случае — прямой); в виде одной кольцевой батареи скважин или нескольких кольцевых концентрических батарей; в виде равномерной треугольной сетки скважин, которая может быть приведена к системе кольцевых концентрических батарей. В качестве расчетной может быть принята также схема любого геометрически неправильного расположения скважин на эксплуатационном участке.

При схематизации гидрогеологических условий необходимо учитывать изменение параметров пласта (мощности, коэффициента фильтрации, водопроницаемости) на площади эксплуатационного участка и месторождения в целом. Если амплитуда изменения этих параметров невелика или в этом изменении нет четко прослеживаемых закономерностей, то для аналитических расчетов могут использоваться средневзвешенные по площади участка параметры и пласт в этом случае принимается условно однородным.

Размеры эксплуатационного участка (и, следовательно, площади проектного водозабора) определяются его геолого-тектоническим строением и гидрогеологическими условиями. При сравнительно однородном строении и фильтрационных свойствах водоносного горизонта и спокойном залегании его в пределах (и за пределами) эксплуатационного участка размеры площади водозабора зависят равным образом от параметров промышленной водоносной зоны, в свою очередь, определяющих дебит отдельных скважин (с учетом их взаимодействия), рациональную схему расположения скважин и их число. Показатели эксплуатации устанавливаются путем последовательных вариантных гидродинамических расчетов, сопровождаемых геолого-экономическим анализом, который преследует цель выбора наиболее экономически эффективной системы разработки, обеспечивающей добычу максимального количества подземных вод при сохранении ее себестоимости на уровне допустимой цены.

Если эксплуатационный участок расположен в пределах антиклинальной структуры с крутопадающими крыльями, то площадь расположения скважин дополнительно определяется допустимой по экономическим соображениям глубиной бурения. Именно такими соображениями ограничиваются размеры водозаборов промышленных и термальных вод, располагаемых в пределах брахиантиклинальных структур в Западной Туркмении и Азербайджанской ССР.

При оценке эксплуатационных запасов глубоких подземных вод необходимо учитывать дебиты скважин и понижения в них динамических уровней от поверхности. И дебиты, и понижения уровней должны быть максимальными для гидрогеологических условий оцениваемого горизонта. Это обеспечивает, с одной стороны, наиболее полную оценку эксплуатационных запасов, с другой — наилучшие технико-экономические показатели эксплуатации водозабора. Однако практически в большинстве случаев расчетные дебиты скважин и понижения в них уровней от поверхности для промышленных и термальных вод приходится ограничивать мощностью насосного оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью. Балансовые эксплуатационные запасы должны обеспечивать минимальную рентабельную производительность промышленного предприятия. Другими словами, расчетный дебит подземных вод с учетом концентрации полезных извлекаемых компонентов или количества тепла должен обеспечивать получение того минимума товарной продукции, при котором экономически целесообразно строительство современного индустриального предприятия.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод производится обычно тремя методами:

балансовым, гидравлическим и гидродинамическим.

Балансовый метод основан на анализе приходных и расходных статей баланса подземных вод. Для промышленных и термальных подземных вод платформенных областей, характеризующихся большой глубиной залегания, весьма малыми реальными скоростями фильтрации в естественных условиях, часто не выходящими на поверхность и имеющими обычно широкое региональное распространение, оценка эксплуатационных запасов этим методом неприемлема. Однако для минеральных, термальных подземных вод горно-складчатых областей и парогидротерм областей современного вулканизма балансовые расчеты имеют часто весьма важное значение для оценки общих ресурсов таких вод и перспектив их использования на ранних стадиях гидрогеологических изысканий. Гидравлический метод основан на изучении связи дебита и понижения динамического уровня при установившемся притоке подземных вод к одиночным и взаимодействующим скважинам. Оценка эксплуатационных запасов в этом случае производится путем гидравлических расчетов на основе экстраполяции полученных опытных данных. Этот метод широко используется при оценке эксплуатационных запасов в сложных гидрогеологических условиях, не поддающихся простейшей схематизации для обоснованных гидродинамических расчетов (наличие водопроводящих тектонических нарушений, неравномерная трещиноватость и закарстованность пород, недостаточно точно установленные источники питания и закономерности распространения водоносного горизонта и т. д.). Гидравлический метод, требующий проведения мощных откачек с дебитами скважин, близкими к эксплуатационным, может быть рекомендован в редких случаях для месторождений промышленных вод на участках сложного тектонического строения и при разведке подземных вод в неравномерно трещиноватых и закарстованных породах. В то же время этот метод является основным при оценке запасов минеральных и термальных подземных вод в горно-складчатых областях и в районах сложного геолого-тектонического строения.

Гидродинамический метод широко используется для оценки эксплуатационных запасов всех типов глубоких подземных вод. Метод основан на прогнозных расчетах изменения дебитов и уровней с учетом параметров водоносных пород, определяемых по данным опытных гидрогеологических работ в период разведки месторождений. Возможность и целесообразность использования этого метода определяется особенностями условий залегания и распространения подземных вод глубоких горизонтов артезианских бассейнов платформенного типа, предгорных и межгорных впадин. Как известно, при откачках глубоких подземных вод в значительной мере проявляются упругие свойства вод и пород, что приводит к длительному неустановившемуся притоку подземных вод к скважинам. Интенсивность и характер изменения уровней и дебитов зависят от ряда факторов, основными из которых являются: а) параметры водоносной зоны (их водопроводимость и пьезопроводность) и изменение этих параметров на площади эксплуатационного участка и за его пределами в зоне влияния водозабора; б) граничные условия месторождения и эксплуатационного участка, определяемые наличием областей создания напора, выклиниванием или резким изменением мощности или литолого-фациальных свойств водовмещающих пород; в) суммарный дебит водозабора (и отдельных скважин) и изменение этого дебита в процессе эксплуатации.

Для глубоких подземных вод суммарный дебит водозабора должен быть постоянным (при постоянных концентрациях в воде полезных компонентов) или ступенчато изменяющимся во времени (при изменении в процессе эксплуатации месторождения концентраций полезных компонентов) в связи с необходимостью обеспечения стабильной производительности промышленного предприятия.

Исходя из изложенного, оценка эксплуатационных запасов глубоких подземных вод на участке проектируемого водозабора производится следующим образом:

по материалам бурения и опытного гидрогеологического опробования разведочных скважин оцениваются расчетные гидрогеологические параметры водоносных пород на участке водозабора и за его пределами;

на основе анализа гидрогеологических условий месторождения в зоне возможного влияния водозабора схематизируются гидрогеологические условия и выявляются расчетные граничные условия;

путем последовательных гидродинамических и технико-экономических расчетов по вариантам определяются кондиционные требования к подземным водам и условиям их эксплуатации;

с учетом кондиционных требований подсчитывается возможный суммарный дебит водозабора применительно к наиболее рациональной для данных условий схеме водозабора; суммарный дебит квалифицируется как эксплуатационные запасы подземных вод;

путем гидродинамических или гидравлических расчетов с учетом гидрогеохимической обстановки

устанавливаются постоянство или закономерности изменения состава подземных вод, концентрации в них полезных компонентов, или количество бальнеологически активных элементов.

В частных случаях, когда природная обстановка месторождения не позволяет обоснованно подсчитать запасы аналитическими методами, прибегают к моделированию процесса разработки месторождения и оценке эксплуатационных запасов с использованием аналоговых машин. Кроме того, аналитические расчеты эксплуатационных запасов целесообразно выполнять с использованием электронных цифровых вычислительных машин. Использование ЭЦВМ позволяет значительно расширить диапазон рассматриваемых вариантов разработки месторождений и решить задачу по одновременному гидродинамическому, гидрогеохимическому и технико-экономическому обоснованию эксплуатационных запасов глубоких подземных вод.

Гидродинамические методы подсчета эксплуатационных запасов подземных вод основаны на решении основного дифференциального уравнения упругой фильтрации жидкости в пористой среде. Решая это уравнение при различных начальных и граничных условиях, получают расчетные формулы для определения дебитов и уровней, которые используются для оценки эксплуатационных запасов подземных вод. Математически и физически гидродинамические методы являются точными; практически их точность в достаточной мере условна вследствие приведения природной гидрогеологической обстановки к имеющим решение расчетным схемам, а также в связи с неточностью используемых в расчетах исходных параметров.

Основное уравнение движения подземных вод — линейное, что позволяет при его решении использовать метод суперпозиции (наложения течений), который заключается в том, что сумма решений этого уравнения также является его решением. Применительно к движению воды это означает, что понижение давления (напора) в любой точке пласта от действия нескольких водозаборов равно сумме понижений в этой точке от действия каждого из них в отдельности.

Другим достоинством гидродинамических методов является то обстоятельство, что, будучи одновременно и балансовыми, они позволяют прогнозировать дебиты и уровни с большей степенью экстраполяции по сравнению с достигнутыми при проведении опытных гидрогеологических работ в скважинах. Возможность экстраполяции представляется весьма важной, так как для глубоких подземных вод понижение уровней до расчетных проектных отметок при проведении опытных работ в скважинах нерентабельно, а с точки зрения точности оценки запасов излишне.

Решение задачи по оценке эксплуатационных запасов подземных вод обычно сводится к определению дебита скважины или водозабора при заданном предельном понижении уровня или к расчету понижения уровня в отдельных скважинах, а для системы скважин — к расчету наибольшего и наименьшего понижения уровня в отдельных скважинах водозабора, выбранных по условиям их расположения. При этом принимается, что начальные и граничные условия, а также параметры пласта известны, строение его однородно, а скважины совершенны.

Используя метод суперпозиции и формулы (4) — (6), можно провести расчет водозаборов для случая любого произвольного расположения скважин. В практике геологоразведочных работ на промышленные воды встречаются следующие схемы расположения эксплуатационных скважин водозаборов: произвольное (неупорядоченное), линейный ряд; кольцевая батарея; треугольная сетка (концентрические кольцевые батареи); прямоугольная сетка (площадная система). Приведение системы расположения скважин к правильным геометрическим схемам позволяет упростить гидродинамические расчеты, что особенно важно при большом числе эксплуатационных скважин на участках водозаборов.

Выше отмечалось, что в практике оценки эксплуатационных запасов глубоких подземных вод возможность использования схемы неограниченного пласта встречается довольно редко. Чаще при оценке запасов приходится учитывать внешние границы водоносного горизонта, схематизируемые в зависимости от их конфигурации, как это указано выше.

Неограниченный пласт. Одиночная скважина с постоянным дебитом. В этом случае расчет производят по формуле (10). Величина r в этом случае принимается равной расстоянию от оси скважины до точки, в которой определяется понижение S . При определении понижения уровня в скважине эта величина равна радиусу скважины.

Одиночная скважина с переменным дебитом. Если в пласте работает одиночная скважина с переменным дебитом и изменение ее дебита происходит ступенчато, то понижение S в ней выразится уравнением

$$S = \frac{0,183Q_i}{km} \sum_{i=1}^n \alpha_i R_i. \quad (44)$$

где Q_i — дебит скважины после i -го изменения, включая пуск;

$$a_i = (Q_i - Q_{i-1})/Q_1; \quad (45)$$

$$R_i = -E_i \left[-\frac{r_i^2}{4a(t_p - t_i)} \right], \quad (46)$$

здесь t_p — полное время работы скважины от пуска до момента, на который определяется понижение; t_i — время работы скважины до i -го изменения дебита, включая пуск. Отсюда $t_1 = 0$ и $a_1 = 1$. Если наибольшее значение $r^2/4at(t_p - t_i) < 0$, то формулу

(44) с учетом формул (45) и (46) можно записать следующим образом:

$$S = \frac{0,183Q}{km} \left[\lg \frac{2,25ar}{r^2} + \alpha_2 \lg \frac{2,25a(t_p - t_1)}{r^2} + \dots + \alpha_n \lg \frac{2,25a(t_p - t_n)}{r^2} \right]. \quad (47)$$

После преобразований формула (47) принимает вид:

$$S = \frac{0,183Q}{km} \left\{ (1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) \lg \frac{2,25a}{r^2} + \lg [t_p(t_p - t_2)^{\alpha_2} \dots (t_p - t_n)^{\alpha_n}] \right\}, \quad (48)$$

где $t_p(t_p - t_2)^{\alpha_2} \dots (t_p - t_n)^{\alpha_n} = t_{np}$

— приведенное время работы скважины с дебитом Q_1 .

Взаимодействующие скважины. Если работает одновременно несколько скважин с изменяющимся дебитом и разным во времени началом работы, то понижение уровня в любой точке пласта, отстоящей от первой, второй, третьей, ..., n -й скважины соответственно на расстоянии $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ определяется по уравнению

$$S = \sum_{j=1}^n S_j,$$

где S — понижение уровня в точке от действия всех скважин; S_j — часть этого понижения, вызванная работой j -й скважины. Величина S_j определяется для каждой скважины по формулам (44), (47) и (48).

Практический интерес представляет случай работы всех скважин с постоянным дебитом $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$. В этом случае, наиболее часто встречающемся при подсчетах запасов подземных промышленных вод, удобнее привести формулу к суммарному дебиту $Q_{\text{сум}}$ водозабора на расчетный момент времени. Тогда понижение в любой точке пласта рассчитывается по формуле

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi km} \left\{ \alpha_1 E_i \left[-\frac{r_1^2}{4a(t_{p1} - t_1)} \right] + \alpha_2 E_i \left[-\frac{r_2^2}{4a(t_{p1} - t_2)} \right] + \dots + \alpha_j E_i \left[-\frac{r_j^2}{4a(t_{p1} - t_j)} \right] + \dots + \alpha_n E_i \left[-\frac{r_n^2}{4a(t_{p1} - t_n)} \right] \right\}, \quad (49)$$

где $a_j = Q_j/Q_{\text{сум}}$; t_j — время пуска j -й скважины; t_{p1} — расчетное время от момента пуска первой скважины. Если —

$(r_j^2)/[4a(t_{p1} - t_j)] < 0,1$, то вместо формулы (49) можно получить

$$S = \frac{0,183Q}{km} \lg \frac{2,25at_{np}}{r_{np}^2},$$

где t_{np} — приведенное время работы водозабора $[t_{np} = (t_{p1} - t_1)^{\alpha_1} (t_p - t_2)^{\alpha_2} \dots (t_{p1} - t_n)^{\alpha_n}]$; r_{np} — приведенное расстояние до расчетной точки ($r_{np} = r_1^{\alpha_1} r_2^{\alpha_2} \dots r_n^{\alpha_n}$). Если скважины пущены одновременно, то $t_{ap} = t$, а t_{np} определяется, как указано выше. Если же при этом одинаковы и дебиты скважин, то $t_{np} = t$; $r_{np} = \sqrt[n]{r_1^{\alpha_1} r_2^{\alpha_2} r_3^{\alpha_3} \dots r_n^{\alpha_n}}$.

При определении понижения в какой-либо скважине в приведенных формулах расстояние до нее заменяется радиусом скважины r_c . При этом учитывается несовершенство скважин по степени и характеру вскрытия пласта.

Для линейного ряда скважин при расположении их на разных расстояниях одна от другой расчеты можно производить так, как и для группы скважин в бесконечном пласте. Однако эти расчеты можно существенно упростить, используя метод, предложенный ф. М. Бочевеком в 1961 г. В соответствии с

полученными им решениями при нечетном числе скважин ($N = 2n+1$) в линейном ряду гидравлические сопротивления и, следовательно, понижения уровней определяются по формулам:

при расчетах по центральной скважине ряда

$$R = \frac{1}{N} \left[2F(B, n) + \ln \frac{2,25at}{r_c^2} \right]; \quad (50)$$

при расчетах по крайней скважине ряда

$$R = \frac{1}{N} \left[F(B, 2n) + \ln \frac{2,25at}{r_c^2} \right]; \quad (51)$$

В формулах (50) и (51)

$$B = l^2/at; F = (B, \nu) = - \sum_{k=1}^{\nu} E_i(-B_k^2),$$

где

1 — половина расстояния между равномерно расположенными скважинами; $\nu = n$ для случая (50); $\nu = 2n$ — для случая (51). Значения функции $F(B, \nu)$ приведены в табл. 28 ($\nu=1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20$).

При соблюдении условий $B < 0,1/n^2$ для центральной скважины и $B < 0,03/n^2$ для крайней скважины ряда формулы (50) и (51) заменяются с достаточной точностью логарифмической:

$$R = \ln \frac{2,25at}{r_c^2},$$

Таблица 28

Значения $F(B, \nu)$

ν	1	2	3	4	5	6	10	20
0,05	4,74	8,08	10,7	12,7	14,3	15,6	18,8	20,7
0,01	4,04	6,72	8,64	10,0	11,1	11,9	13,4	13,9
0,02	3,35	5,38	6,69	7,55	8,13	8,47	8,97	9,03
0,04	2,68	4,09	4,87	5,28	5,5	5,61	5,7	5,7
0,1	1,82	2,53	2,79	2,87	2,87	2,9	2,9	2,9
0,2	1,22	1,53	1,6	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
0,4	0,702	0,789	0,85	0,851	0,851	0,851	0,851	0,851
1	0,219	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223
2	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489	0,0489
4	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378	0,00378

Таблица 29

Функции Φ_0 и Φ_s для расчета линейного ряда скважин

N	Φ_s	Φ_s	N	Φ_0	Φ_s
1	1	1,26	22	8,61	16,10
2	1,32	1,89	23	9,00	16,80
3	1,67	2,56	24	4,42	17,50
4	2,03	3,25	25	9,75	18,25
5	2,39	3,96	26	10,12	18,95
6	2,75	4,65	27	10,50	19,70
7	3,11	5,37	28	10,90	20,40
8	3,48	6,08	29	11,23	21,15
9	3,24	6,81	30	11,61	21,85
10	4,21	7,51	31	12,00	22,55
11	4,57	8,82	32	12,35	23,25
12	4,96	8,96	33	12,71	24,00
13	5,31	9,69	34	13,10	24,70
14	5,68	10,40	35	13,60	25,45
15	6,06	11,12	36	13,84	26,15
16	6,43	11,90	37	14,22	26,85
17	6,78	12,60	38	14,60	27,60
18	7,16	13,25	39	15,00	28,30
19	7,52	14,00	40	15,35	29,00
20	7,39	14,70	41	15,71	29,70
21	8,25	15,40	42	16,10	30,45

где p_s определяется из выражения $p_s = 2l (r_c/2l)^{1/N} \Phi_s$. Для центральной скважины ряда $\Phi_s = \Phi_0 = (n!)^{2/N}$, а для крайней скважины ряда $\Phi_s = \Phi_k = (2n!)^{1/N}$. Значение p_s представляет собой

среднее геометрическое расстояние N скважин от центральной (или крайней) скважины ряда, равное радиусу большого колодца, имеющего такой же дебит, как у всех скважин, и такое же понижение уровня, как у крайней (или центральной) скважины. Значение функций ϕ_0 и ϕ_5 приводятся в табл. 29. Схема линейной системы скважин в неограниченном пласте приведена на рис. 24.

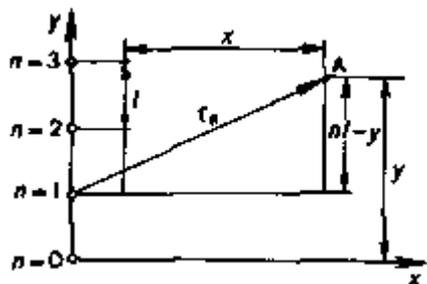


Рис. 24. Схема линейной системы скважин в неограниченном пласте:

n — число скважин; l — расстояние между скважинами в ряду; A — точка определения гидравлического сопротивления R ; r_n — расстояние от центра линейного ряда до точки A

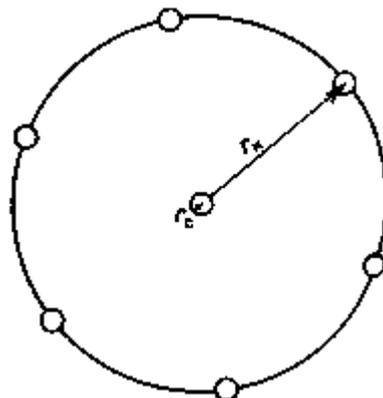


Рис. 25. Схема кольцевой батареи скважин в неограниченном пласте:

r_f — радиус скважины; r_k — радиус кольцевой батареи скважин

Для случая расположения скважин в виде кольцевой батареи решение задачи дано В. Н. Щелкачевым. Расчетная схема для этого случая приведена на рис. 25. При постоянном во времени дебите скважин (и, следовательно, суммарном дебите водозабора) понижение уровня в скважине определяется по формуле

$$S = \frac{Q_{\text{сум}} R_{\text{кб}}}{4\pi k m},$$

где $R_{\text{кб}} = f(\ln f_0, r)$; при этом $f_0 = at/r^2$; $r = r_k/r_c$.

Представляет интерес полученное Г. Ц. Тумаркиным решение для кольцевой батареи пущенных одновременно n скважин, расположенных в углах вписанного в окружность радиуса r_0 равностороннего многоугольника. В этом случае:

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi k m} \left[-E_i\left(\frac{r_c^2}{4at}\right) - \sum_{k=1}^{n-1} E_i\left(-\frac{r_k^2}{4at}\right) \right], \quad (52)$$

Упростив формулу (52), получим

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi k m} \left[\ln \frac{4at}{r_c^2} + \frac{1}{n} \ln \frac{r_k^2}{n^2 r_c^2} + 2 \frac{r_c^2}{4at} - \frac{3}{2} \left(\frac{r_c^2}{4at}\right)^3 \right]. \quad (53)$$

При $at/r_c^2 > 1,5$ погрешность при использовании формулы (53), связанная с заменой бесконечного ряда лишь выписанными его членами, составит не более 0,5%. Если $f_0 = at/r_c > 3$, что обычно наблюдается при расчетах водозаборов на длительный срок их эксплуатации, можно ограничиться двумя первыми членами ряда в формуле (53), что обеспечит расчеты с точностью 5% и выше:

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi k m} \left(\ln \frac{2,25at}{r_c^2} + \frac{1}{n} \ln \frac{r_k}{n r_c} \right). \quad (54)$$

Равномерная треугольная сетка является одним из частных случаев площадных систем при упорядоченном расположении скважин. В этом случае все скважины оказываются на окружностях кольцевых батарей (на рис. 26), радиусы которых r_i в зависимости от расстояния между скважинами l приведены в табл. 30.

Расчеты понижений уровней в скважинах проводятся по следующим формулам:

$$S = \frac{Q_{\text{сум}}}{4\pi k m} R_n; \quad R_n = R_{\text{св}} + \sum R_{\text{внутр}} + \sum R_{\text{внешн}}. \quad (55)$$

Для точки на окружности рассматриваемой батареи скважин:

$$R_0 = \alpha_i \left[\ln \frac{4at}{r_i^2} + \frac{1}{n} \ln \frac{r_i^2}{n^2 - r_i^2} + \frac{2r_i}{4at} + \dots \right]. \quad (56)$$

Для точки, являющейся внутренней по отношению к рассматриваемым батареям скважин $r_0 < r_i$,

уравнение будет иметь вид:

$$R_{\text{внешн}} = \alpha_i \left[\ln \frac{4at}{r_0^2} + \frac{r_0^2 + r_i^2}{4at} - \frac{1}{4} \frac{(r_i^2 + r_0^2) + 2r_i r_0}{(4at)^2} + \dots \right]. \quad (57)$$

Таблица 30

Радиусы кольцевых батарей и число скважин

Номер колец	Радиус батареи	Число скважин на кольце	Общее число скважин
1	1	6	6
2	√3	6	12
3	√4	6	18
4	√7	12	30
6	√9	6	36
5	√12	6	42
8	√13	12	54
7	√16	6	60

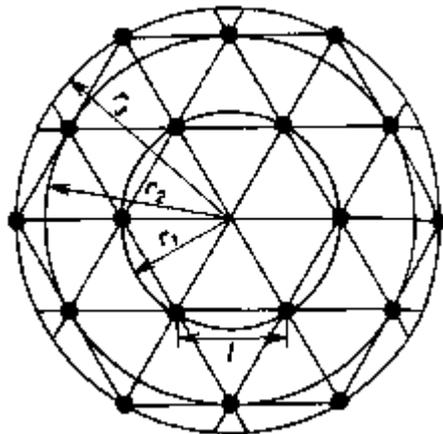


Рис. 26. Схема концентрических кольцевых батарей скважин

Для точки, являющейся внешней по отношению к рассматриваемым батареям скважин, т. е. для точки за пределами водозабора:

$$R_{\text{внутр}} = \alpha_i \left[\ln \frac{4at}{r_i^2} + \frac{r_0^2 + r_i^2}{4at} + \frac{1}{4} \frac{(r_i^2 + r_0^2) + 2r_i r_0}{(4at)^2} + \dots \right]. \quad (58)$$

В формулах (55) — (58) а, — отношение дебита скважин i -и батареи Q_i к суммарному дебиту водозабора $Q_{\text{сум}}$; R_n — полное гидравлическое сопротивление от действия всех кольцевых батарей скважин; $ZR_{\text{внутр}}$ — суммарное гидравлическое сопротивление от действия кольцевых батарей, являющихся внешними по отношению к рассматриваемой точке пласта; $\xi Y_{\text{внешн}}$ — гидравлическое сопротивление от действия концентрических кольцевых батарей скважин, являющихся внутренними по отношению к рассматриваемой точке пласта; r_0 — расстояние от центра системы скважин до точки, в которой определяется понижение уровня.

Для точки (скважины) в центре водозабора

$$R_n = R_{\text{скв}} + \sum_{k=1}^{k=i} R_{\text{внешн}_k}.$$

Для точки вне водозабора

$$R_n = R_{\text{скв}} + \sum_{k=1}^{k=i} R_{\text{внутр}_k}.$$

Для точки внутри водозабора

$$R_n = R_{\text{скв}} + \sum_{k=1}^{k=n} R_{\text{внешн}_k} + \sum_{k=1}^{k=i-n} R_{\text{внутр}_k}.$$

Прямоугольная сетка скважин (рис. 27) предполагает равномерное геометрически правильное распределение их в пределах водозабора; расчетные решения для такой системы скважин получены Ф. М. Бочеворм.

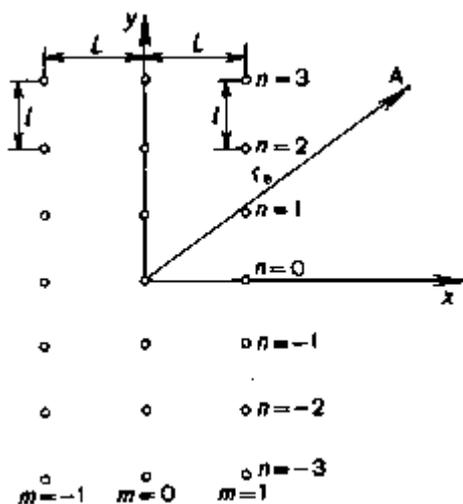


Рис. 27. Схема прямоугольной сетки скважин.

n — число скважин; m — число рядов скважин, L — расстояние между рядами скважин; l — расстояние между скважинами в ряду; A — точка определения гидравлического сопротивления R ; r_n — расстояние от центра линейного ряда до точки A

Удобный метод расчета крупных водозаборов, разработанный Ф. М. Бочевеком, — метод обобщенных систем взаимодействующих скважин заключается в том, что реальная система скважин заменяется обобщенной системой источников — стоков определенной геометрической формы с дебитом, равномерно распределенным по всей обобщенной системе. Удобство применения метода обобщенных систем заключается в том, что гидравлическое сопротивление системы в целом $R_{об}$ остается постоянным, а гидравлическое сопротивление скважины $R_{скв}$ меняется в зависимости от числа скважин и схемы их расположения. Это позволяет при необходимости рассмотреть много вариантов организации водозабора, что особенно важно при большом числе скважин.

Следует отметить, что подсчет эксплуатационных запасов подземных минеральных, термальных и промышленных вод требует обязательного учета числа скважин и их расположения; часто геологоструктурные и гидрогеологические условия участков водозаборов глубоких подземных вод не позволяют использовать определенную геометрическую схему расположения скважин, а сравнительно небольшое их число заставляет рассчитывать дебиты и понижения уровней для каждой скважины. Поэтому в практике гидрогеологических расчетов при оценке запасов глубоких подземных вод по результатам геологоразведочных работ чаще используются точные гидродинамические методы. Метод обобщенных систем скважин целесообразно использовать на стадии региональной оценки прогнозных эксплуатационных запасов, а также при выборе схемы расположения большого числа скважин. Критерием выбора рациональной схемы расположения скважин будет минимальное значение $R_{скв}$ при заданных числе и суммарном дебите скважин или максимальный дебит скважин при допустимом $R_{скв}$ и их числе.

Расчеты водозаборов в ограниченных пластах осуществляются с использованием метода зеркальных отображений, который заключается в том, что влияние на работу скважины или водозабора границ пласта аппроксимируется влиянием зеркально отображенных от этих границ скважины или водозабора. Если граница непроницаемая, то отображенный водозабор должен иметь тот же знак, что и реальный. В том случае если граница пласта представляет собой контур постоянного напора, то отображенная скважина или водозабор берутся со знаком, противоположным реальному. Другими словами, действие непроницаемой границы рассматривается как работа скважины (или водозабора) в условиях взаимодействия с реальной, имеющей такой же дебит и отстоящей от этой реальной скважины на удвоенное расстояние (по нормали к границе). Аналогично предыдущему действие границы с контуром постоянного напора рассматривается как действие нагнетательной скважины, работающей с тем же дебитом, что и реальная эксплуатационная, и отстоящей от нее на удвоенное расстояние до границы.

Наличие отображенных скважин или водозаборов усложняет гидродинамические расчеты главным образом в отношении их объема; содержание этих расчетов аналогично выполняемым для водозаборов в неограниченных водоносных горизонтах.

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Основные показатели качества вод включают данные о минерализации подземных вод, о содержании в этих водах макро- и микрокомпонентов, а также о составе растворенного газа. В общем

случае химический состав подземных вод характеризуется сведениями о содержании следующих компонентов: NH_4 , Li, Na, K, Cs, Mg, Ca, Sr, Fe, Al, Mn, B, Cl, Br, I, SO_4 , HCO_3 , CO_3 , NO_2 , NO_3 , SiO_2 (H_4SiO_4), а для углекислых вод, азотных терм и парогидро-терм вулканических районов — также F, As, Sb. При отборе проб воды на анализ могут быть зарегистрированы: температура подземных вод (в интервале водоносного горизонта и на самоизливе), pH, цвет, запах, прозрачность воды, количество и вид осадка в бутылке. Естественно, что в каждом конкретном районе с учетом специфики гидрогеохимической обстановки и цели исследований по результатам анализов могут быть получены ограниченные сведения о макро- и микрокомпонентах, но обязательно должно быть предусмотрено получение сведений о микрокомпонентах, необходимых для обоснования типов и классов развитых подземных вод, а также являющихся поисковым критерием на промышленные подземные воды (Na, Mg, Ca, Cl, SO_4 , HCO_3). Кроме того, должны быть получены сведения о микрокомпонентах, представляющих первоочередной промышленный интерес (Li, Rb, Cs, Sr, B, Br, I).

При сборе и обработке материалов особое внимание уделяется представительности анализов подземных вод. Некачественные гидрогеохимические данные могут быть обусловлены различными причинами; неудовлетворительным опробованием пластов, несоблюдением правил хранения и большой длительностью хранения проб, а также погрешностями выполнения анализов. При неудовлетворительном опробовании скважин в подземную воду может попасть примесь бурового раствора. Основной состав подземных вод при этом изменяется незначительно (обычно в сторону уменьшения общей минерализации, повышения сульфатов и гидрокарбонатов), но вследствие влияния сорбции на глинистых коллоидных частицах могут резко меняться концентрации некоторых компонентов (например, цезия, рубидия и в меньшей степени стронция и бора). Примесь бурового раствора в пластовых водах сравнительно невысокой минерализации может сильно изменить и их основной состав.

Пробы, отобранные на устье самоизливающихся скважин, даже при сравнительно длительном периоде излива могут также характеризоваться пониженными концентрациями летучих и легкосорбируемых компонентов (йод, бор, цезий, калий).

При длительном хранении проб в ряде случаев отмечается вы-падение солей, что особенно характерно для глубоких высокоми-нерализованных вод, а в открытых пробах часто происходят окис-лительные процессы и выпадение в осадок гидроксидов железа. Редкие щелочи, стронций и бор сравнительно слабо сорбируются гидроксидами железа и хлористым натрием; стронций не может поглощаться карбонатами.

Простейшим приемом проверки качества химических анализов являются: сопоставление суммы миллимолей на литр катионов и анионов (при раздельном определении натрия и калия); проверка величины минерализации рассолов по их плотности, содержанию хлора, сопоставление аналитической суммы растворенных веществ и экспериментальной величины сухого остатка.

Для отбраковки непредставительных данных прежде всего необходимо проанализировать условия отбора пробы: техническое состояние скважин, изоляцию опробуемого интервала от соседних, произошла ли смена бурового раствора пластовой водой, способ (на устье или глубинным пробоотборником) и условия (после прокачки или в неработающей скважине) отбора проб. При наличии нескольких достоверных анализов для одного и того же пласта берутся средние значения гидрохимических показателей. Если значения какого-либо параметра резко отличаются от большинства других значений, то возможность исключения их при оценке средних значений определяют с помощью статистических критериев.

При выборе расчетных значений минерализации, концентраций Полезных компонентов в водах следует прежде всего учитывать закономерности изменения их в данном районе (на участке) по площади и с глубиной, для выявления которых наиболее часто используется: способ построения графиков связи (например, графики изменения показателей, характеризующих химический состав подземных вод, с глубиной в конкретных скважинах или на участках с однородными гидрогеохимическими условиями). Широко используются корреляционные зависимости содержания микрокомпонентов от концентрации макрокомпонентов и общей минерализации. Примером может служить четкая, прямая зависимость содержания брома и стронция от минерализации, связь брома, лития, калия, стронция с кальцием, лития, брома, рубидия и калия — с магнием, рубидия и цезия — с калием.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Целью региональной оценки прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов подземных вод является определение того их количества, которое может быть добыто в пределах месторождения рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами, расположенными в расчете на получение максимального суммарного дебита при условии одновременной работы водозаборов в течение расчетного срока эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям извлечения полезной продукции. Таким образом, региональная оценка эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод преследует цель выявления того их количества, добыча и использование которого экономически целесообразны с учетом современного уровня развития техники и технологии.

Региональная оценка эксплуатации запасов позволяет установить не только общее количество того или иного типа подземных вод в пределах месторождений, но также определить потенциальные возможности каждого эксплуатационного участка (т. е. каждого участка водозабора), сопоставить условия и эффективность разработки каждого из них, выявить наиболее перспективные для постановки геологоразведочных работ и последующего освоения. Наряду с этим региональная оценка эксплуатационных запасов дает возможность текущего и перспективного планирования размещения производственных мощностей по добыче той или иной продукции из подземных вод (и очередности ввода этих мощностей в действие), бальнеолечебниц и предприятий по розливу минеральных вод, а также предприятий по использованию термальных вод и парогидротерм.

Количество эксплуатационных запасов в региональных масштабах зависит не только от общих гидрогеологических условий месторождений, но и от технико-экономических условий их разработки. Гидрогеологические условия определяют прежде всего глубину залегания водоносной зоны в пределах месторождений, возможные дебиты скважин и суммарные дебиты водозаборов, размеры площади последних, схему расположения скважин на отдельных участках. Технико-экономические условия эксплуатации определяют предельные понижения уровней воды от поверхности, а следовательно, и производительность скважин, способ их эксплуатации, стоимость добычи подземных вод.

В настоящее время размеры эксплуатационных запасов промышленных и термальных вод лимитируются в основном мощностью водоподъемного оборудования, определяющей дебиты отдельных скважин и понижения динамических уровней. Ограничение величины понижения уровней по техническим причинам приводит к тому, что подсчитываемые эксплуатационные запасы являются лишь частью общих ресурсов подземных вод месторождений. Вместе с тем условия одновременной эксплуатации всех водозаборов в течение одного и того же расчетного срока эксплуатации в большинстве случаев практически невыполнимы. Это условие приводит к занижению реальных эксплуатационных запасов месторождений и отдельных участков. В связи с этим для каждого эксплуатационного участка (водозабора) целесообразно дополнительно оценивать эксплуатационные запасы без учета взаимодействия водозаборов, расположенных в пределах всего месторождения.

Региональная оценка эксплуатационных запасов в зависимости от геологического строения и гидрогеологических условий месторождений осуществляется по-разному.

В том случае, если водоносные горизонты или комплексы в пределах месторождения характеризуются выдержанным распространением и спокойным залеганием, эксплуатационные участки могут располагаться в пределах уже изученных бурением площадей предполагаемых (по сумме полученных показателей и их экстраполяции) перспективных участков. Схема расположения эксплуатационных и перспективных участков в данном случае зависит от параметров водоносных пород и граничных условий в пределах месторождения, которые, в свою очередь, определяют эксплуатационные запасы подземных вод в пределах этих участков, размеры радиусов действия водозаборов, степень взаимодействия последних при совместной эксплуатации и т. д. Подобные условия существуют в большей части платформенных областей СССР, характеризующихся в целом небольшими амплитудами частных структур второго и третьего порядка.

В некоторых гидрогеологических районах водоносные породы залегают на больших глубинах и доступны для изучения и эксплуатации подземных вод только в крупных брахиантиклинальных или иных структурах (Западная Туркмения, Прикуринская впадина, Сурхандарьинский и Бухаро-Каршинский бассейны и т. д.). В этом случае эксплуатационные и перспективные участки располагаются в пределах структур, выявленных путем бурения и геофизических исследований. При определении мест расположения эксплуатационных участков в пределах месторождений

промышленных вод необходимо учитывать наличие разведанных или эксплуатируемых залежей нефти и газа.

Прогресс техники в будущем и разработка новых типов высокопроизводительного насосного оборудования позволит более полно использовать ресурсы промышленных вод в отдельных районах. Оценка эксплуатационных запасов промышленных вод, позволяющая составить достаточно точное представление о возможном уровне развития промышленности на базе использования этих подземных вод в настоящее время, не дает возможности судить о масштабах производства в будущем. Поэтому дополнительно к оценке эксплуатационных запасов целесообразно дать оценку также общих ресурсов промышленных подземных вод, под которыми следует понимать то их количество, которое может быть получено из водоносного горизонта или комплекса в течение заданного срока эксплуатации в расчете на полную сработку напоров, упругих запасов и в некоторых случаях частично запасов воды в водоносном горизонте. Ресурсы характеризуют максимальные возможности месторождения.

Выше уже отмечалось, что предельная величина понижения динамического уровня определяется глубиной залегания водоносного горизонта или комплекса, производительностью и мощностью насосного оборудования. В связи с этим учтены следующие основные случаи подсчета эксплуатационных запасов подземных промышленных вод.

1. При глубоком залегании водоносной зоны, когда эта глубина заведомо превышает водоподъемную мощность насосного оборудования, предельная глубина понижения динамических уровней устанавливается с учетом технических возможностей насосных установок.

2. Если технически осуществимо понижение динамических уровней, по величине превышающее глубину залегания водоносного горизонта, то это понижение ограничивается глубиной залегания кровли водоносных пород или глубиной, определяемой с учетом частичной сработки подземных вод ниже кровли водоносных пород.

3. Если глубина залегания водоносных пород в пределах эксплуатационного участка претерпевает значительные изменения, то выбор предельной глубины понижения динамических уровней производится для разных частей участка по-разному с учетом сделанных выше замечаний.

Оценка эксплуатационных запасов промышленных подземных вод на участке проектируемого водозабора производится следующим образом. По материалам бурения и опытного гидрогеологического опробования разведочных скважин, а также геофизических данных проводится оценка расчетных гидрогеологических параметров на участке водозабора и за его пределами. На основе анализа гидрогеологических условий месторождения в зоне возможного влияния водозабора осуществляется схематизация этих условий и разрабатывается принципиальная расчетная схема. Путем последовательных гидродинамических и технико-экономических расчетов

с использованием метода вариантов определяются кондиционные требования к промышленным водам и условиям их эксплуатации, включающие, в частности: концентрации в водах полезных компонентов; минимальный дебит одной скважины; максимальное понижение динамического уровня в скважинах к концу расчетного срока эксплуатации; температуру подземных вод на поверхности, а также требования технологического содержания.

С учетом кондиционных требований к месторождениям подсчитывается суммарный дебит водозабора применительно к наиболее рациональной системе расположения эксплуатационных скважин. Этот суммарный дебит квалифицируется как эксплуатационные запасы промышленных подземных вод и классифицируется по степени изученности в соответствии с инструктивными требованиями ГКЗ СССР.

Региональная оценка прогнозных эксплуатационных запасов связана с известными трудностями, обусловленными рядом факторов общего и специального характера.

Изученность промышленных вод в пределах гидрогеологических районов и месторождений по площади их распространения и в разрезе водоносных пород неравноценна, что необходимо учитывать при оценке надежности гидрогеологических расчетов. По этой же причине, а также вследствие разнообразия гидрогеологических условий распространения месторождений подземных промышленных вод разработка единых универсальных методов оценки прогнозных запасов для всех возможных случаев невозможна. Месторождения промышленных подземных вод характеризуются обычно большими размерами и изменчивостью на площади месторождений общих гидрогеологических условий и параметров водовмещающих пород. Это обстоятельство наряду с большим числом водозаборов в значительной степени осложняет прямое аналитическое решение задачи и заставляет прибегать к трудоемкому методу вариантов подсчета запасов.

При оконтуривании месторождения промышленных вод в пределах части месторождения или

отдельных его участков эксплуатационные запасы подземных вод могут оказаться непромышленными (забалансовыми). Аналогично к забалансовым может быть отнесена часть эксплуатационных запасов, пропорциональная разнице между Предельными понижениями уровня, добыча воды с которых обеспечивается при использовании существующего насосного оборудования, и допустимым понижением, установленными в результате техникоэкономического анализа.

Таким образом, при региональной оценке эксплуатационных запасов в пределах отдельных участков предельные понижения уровней в скважинах к концу расчетного срока эксплуатации устанавливаются с учетом мощности насосного оборудования. Часть расчетного дебита (или полный дебит) водозабора, отвечающего условиям рентабельной добычи и переработки подземных вод, можно считать балансовыми (промышленными) запасами. Подобная оценка запасов имеет смысл, так как методы и экономическая эффективность разработки месторождений определяются не только их гидрогеологическими условиями, но также уровнем развития технологии извлечения полезных компонентов и техники добычи подземных вод из скважин.

При региональной оценке эксплуатационных запасов могут встретиться два основных случая. В первом случае эксплуатационные и перспективные участки заведомо известны, количество их ограничено, а размеры месторождения определяются особенностями геологического строения и гидрогеологических условий территории. Такие условия имеют место: а) когда участки водозаборов связаны с крутыми брахиантиклинальными структурами, за пределами которых водоносные отложения погружаются на глубины, недостижимые для вскрытия их эксплуатационными скважинами; б) когда водоносные отложения не имеют сплошного распространения в пределах месторождения и эксплуатационные и перспективные участки приходится размещать в ограниченных по площади зонах распространения достаточно проницаемых водоносных пород. В этом случае подсчет эксплуатационных запасов промышленных вод производится по изложенной выше схеме на каждом из выявленных бурением эксплуатационных или установленных косвенными методами (например, геофизическими) перспективных участков. При близком расположении таких участков необходима проверка степени их взаимодействия и уменьшения суммарных дебитов водозаборов пропорционально величине срезок уровней в эксплуатационных скважинах от взаимодействия. В качестве эксплуатационных запасов промышленных подземных вод в данном случае принимается суммарный дебит водозаборов, расположенных в пределах месторождения. При этом запасы подразделяются на балансовые и забалансовые в соответствии со сделанными выше замечаниями.

Более сложно проведение региональной оценки эксплуатационных запасов во втором случае, отвечающем условиям сплошного распространения в пределах месторождений водоносного горизонта, или комплекса с промышленными водами. В этом случае размеры эксплуатационных запасов определяются числом, схемой расположения и производительностью водозаборов подземных вод.

В условиях одновременного действия проектируемых на одинаковый срок работы водозаборов наибольший суммарный дебит может быть получен при бесконечно большом их числе (практически при расположении эксплуатационных скважин на площади всего месторождения и на расстояниях, определяемых величинами водопроводимости пород), при условии достижения к концу срока эксплуатации предельных технически возможных понижений динамических уровней. Вследствие значительного влияния технико-экономических факторов на результаты оценки запасов промышленных вод подоонный спосоУ расчетов в данном случае оказывается неприемлемым.

При региональной оценке запасов промышленных подземных вод приходится иметь в виду, что, во-первых, наиболее выгодными являются водозаборы, обеспечивающие предприятие достаточно большой производственной мощности; во-вторых, вследствие увеличения технологических затрат в себестоимости продукции при уменьшении ее производства целесообразно ориентироваться на оптимальный с учетом указанного обстоятельства дебит водозабо-ра; в-третьих, гидрогеологические (параметры водоносных пород, концентрации полезных компонентов, общий состав подземных вод), технические (использование того или иного типа насосного оборудования, конструкция скважин) и технологические показатели эксплуатации тесно взаимосвязаны. Число и дебиты водозаборов в пределах месторождения определяются, таким образом, необходимостью соблюдения условий рентабельности производства полезных компонентов и получения при этом максимального суммарного дебита всех водозаборов.

Практически при размещении водозаборов и региональной оценке эксплуатационных запасов промышленных вод для второго из рассматриваемых случаев целесообразно придерживаться следующей последовательности.

1. Для каждого из водоносных горизонтов (комплексов) путем расчетов устанавливаются

минимальные промышленные концентрации полезных компонентов (редких металлов и рассеянных элементов) и оконтуривается площадь месторождения. 2. В пределах площади месторождения устанавливаются эксплуатационные участки с утвержденными ранее эксплуатационными запасами промышленных вод, а также месторождения нефти и газа (разрабатываемые и намеченные к разработке) с целью исключения взаимодействия их с разведываемыми участками промышленных вод.

3. Выявляются эксплуатационные участки, наличие которых подтверждено специальными гидрогеологическими буровыми и опытными работами, а также поисковым и разведочным бурением на нефть, газ и другие полезные ископаемые (например, термальные воды).

4. Для установленных бурением и опытными работами участков, принимая во внимание полученные параметры водоносных пород, и для перспективных участков, характеризующихся различными сочетаниями концентраций полезных компонентов в воде и параметров пород, производится подсчет эксплуатационных запасов с учетом кондиционных показателей.

5. На основе анализа технико-экономических показателей извлечения полезных компонентов в заводских условиях в пределах рассматриваемого месторождения или для сходных по составу и минерализации вод на других месторождениях устанавливается:

стоимость технологической обработки 1 м³ подземных вод для получения продукции; стоимость технологических затрат на производство продукции с учетом ее номенклатуры.

6. С учетом полученной стоимости технологической обработки 1 м³ воды и концентрации компонентов в подземных водах различных эксплуатационных и перспективных участков определяется: а) стоимость технологических затрат на получение полезной продукции; б) допустимая максимальная стоимость добычи 1 м³ подземных вод как разность между отпускной ценой продукции и технологическими затратами на ее производство, отнесенными к расходу воды; в) максимальная производительность водозабора, обеспечивающая рентабельное производство продукции.

7. Для полученной максимальной производительности водозаборов определяется расчетное эксплуатационное положение динамических уровней. Разница между предельными максимальным и полученным расчетным понижением уровней для рассматриваемого водозабора определяет возможные размеры суммарной срезки уровней от действия всех других водозаборов в пределах месторождения.

8. Дальнейшая оценка эксплуатационных запасов промышленных вод сводится к размещению в пределах месторождения водозаборов с таким расчетом, чтобы срезки уровней при совместной их работе не превышали полученных суммарных расчетных величин. При этом должны учитываться также и граничные условия месторождений.

9. Проверка возможности получения установленных таким путем дебитов водозаборов и суммарного дебита месторождения производится путем аналитических расчетов, и в случае несоблюдения заданных условий эксплуатации эти дебиты корректируются путем подбора величин, отвечающих всем требованиям.

10. Путем анализа условий разработки эксплуатационных и перспективных участков водозаборов выявляются, таким образом, общие эксплуатационные запасы месторождения, а также балансовые и забалансовые запасы.

В настоящей главе рассмотрены лишь основные принципы оценки эксплуатационных запасов месторождений подземных промышленных вод. Разнообразие гидрогеологических условий месторождений приводит к необходимости разработки в каждом случае оригинальных методических приемов региональной оценки эксплуатационных запасов этих вод. В ряде случаев, в частности при малом количестве эксплуатационных участков водозаборов, такие приемы весьма просты. В пределах некоторых месторождений (Тюменское, Волго-Камское, Западно-Туркменское) региональная оценка эксплуатационных запасов весьма трудоемка; поиски наиболее короткого и правильного пути при этом приводят к весьма сложным аналитическим зависимостям и построениям с учетом разработанных и изложенных выше основных методических положений.

Картографирование подземных промышленных вод первоначально развивалось в направлении изучения закономерностей их распространения, характера изменения их минерализации и химического состава по площади артезианских бассейнов и с глубиной, а также изучения закономерностей изменения в промышленных водах полезных компонентов, в первую очередь йода и брома. Анализ показал, что высокие концентрации полезных компонентов являются важным, но не единственным условием их промышленного освоения. Поэтому дальнейшие работы по картографированию подземных промышленных вод проводились с целью не только изучения закономерностей их

распространения, но также количественной оценки их ресурсов и эксплуатационных запасов на геолого-экономической основе. Так, в 1966 — 1970 гг. производственными и научно-исследовательскими организациями Министерства геологии СССР под научно-методическим руководством и при участии ВСЕГИНГЕО была составлена Карта прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод СССР масштаба 1:4 000 000 с врезками по перспективным районам масштаба 1:500 000 — 1:1 500 000. Региональная оценка прогнозных эксплуатационных запасов промышленных вод была впервые выполнена по сумме гидрогеохимических и гидродинамических показателей с учетом геолого-экономических условий эксплуатации и использования этих вод.

Расширение числа извлекаемых из подземных промышленных вод компонентов обусловило необходимость изучения и картографирования закономерностей распространения в пределах водонапорных систем также лития, рубидия, цезия, стронция и бора. В соответствии с задачами такого изучения были составлены: карта распространения стронциеносных вод; карта подземных редкометалльных вод; карты распространения и ресурсов подземных Промышленных вод; карта прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных редкометалльных вод. В 1985 г. во ВСЕГИНГЕО по материалам производственных и научно-исследовательских организаций завершены региональная оценка и составление карты эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных промышленных вод СССР. Полученные материалы являются надежной основой планирования геологоразведочных работ и размещения производственных мощностей по добыче рассеянных элементов, редких металлов и минеральных солей.

Принципы и методы картографирования месторождений подземных промышленных вод

Для достижения поставленных целей и решения общих и специальных задач, связанных с изучением и оценкой перспектив использования промышленных вод, предложено составить три типа карт: 1) гидрогеохимического распространения промышленных вод в различных водоносных комплексах; 2) динамики подземных вод и параметров водоносных комплексов или горизонтов; 3) прогнозных эксплуатационных запасов промышленных подземных вод. Цели, задачи и основные элементы картографирования приведены в табл. 31.

Таблица 31

Типы карт при региональном изучении и оценке месторождений подземных промышленных вод

Карты	Цели и задачи картографирования	Основные элементы картографирования
Гидрогеохимического распространения промышленных вод в различных обособленных водоносных комплексах	Изучение гидрогеохимических закономерностей распространения промышленных вод и связи этих закономерностей с общей гидрогеохимической зональностью и литолого-фациальными особенностями водовмещающих пород; изучение условий формирования подземных вод	Границы гидрогеологического района и распространения водоносного комплекса; минерализация и химический (и газовый) состав подземных вод; концентрации в подземных водах полезных компонентов, сведения о количественном содержании других редких и рассеянных элементов; литолого-фациальная характеристика водовмещающих пород; основные скважины или группы скважин
Динамики подземных вод и параметров водоносных комплексов	Изучение закономерностей изменения параметров водовмещающих пород; анализ распределения пьезометрических напоров; оценка направления и интенсивности подземного стока, взаимосвязи водоносных горизонтов и комплексов; схематизация гидрогеологических условий для гидродинамических расчетов аналогового и математического моделирования	Границы гидрогеологического района и распространения водоносного комплекса; водо-проводимость пород; приведенные пьезометрические напоры; температура подземных вод; области питания и создания напора, разгрузки; области возможного самоизлива воды из скважин (фонтанирования)

Прогнозных эксплуатационных запасов промышленных водonoсных комплексов	экс-вод	Изучение распространения различных типов промышленных вод и размеров месторождений; оценка эксплуатационных запасов в пределах водозаборов и месторождений; разработка рекомендаций по комплексному использованию промышленных вод и размещению производственных мощностей по добыче рассеянных элементов и редких металлов; планирование и проектирование геологоразведочных работ	Границы гидрогеологического района и распространения водоносного комплекса; распространение основных типов промышленных вод; контуры месторождений; эксплуатационные, перспективные и прогнозные участки водозаборов; эксплуатационные балансовые и забалансовые запасы промышленных вод; распространение других редких и рассеянных элементов
--	---------	---	--

Масштаб картографирования промышленных вод и их запасов определяется степенью гидрогеологической изученности отдельных районов страны и размерами изучаемой территории. Ниже приведены некоторые сведения о масштабах картографирования, принятых при выполнении законченных к настоящему времени работ по региональной оценке эксплуатационных запасов подземных промышленных вод СССР с использованием излагаемых принципов и методики:

Волго-Камский бассейн	1 : 1 500 000
Западно-Сибирский бассейн	1 : 2 500 000
Ангаро-Ленский бассейн	1 : 1 500 000
Северное Предкавказье	1 : 500 000
Прикуринский бассейн	1 : 200 000
Западно-Туркменский бассейн	1 : 500 000
Украинская ССР	1 : 1 000 000
Молдавская ССР	1 : 1 000 000
Прибалтика	1 : 1 000 000

Подобный подход к картографированию приводит к необходимости стратификации гидрогеологического разреза в каждом изучаемом районе. Гидрогеологическое расчленение разреза отличается своими особенностями в каждом бассейне промышленных вод и определяется, в частности, масштабом картографирования. Наиболее четко вопросы стратификации гидрогеологического разреза и определения основных его таксономических единиц изложены в работе А. С. Рябченкова, а также в методических руководствах по проведению гидрогеологической съемки. В соответствии с рекомендациями в этих руководствах и необходимостью составления гидрогеологических карт с учетом стратиграфии и литологии водо-вмещающих пород в настоящей работе приняты следующие основные единицы гидрогеологической стратификации для карт промышленных вод: 1) водоносный горизонт; 2) водоносный комплекс; 3) водоупорный комплекс (или горизонт).

Гидрогеохимические карты распространения подземных промышленных вод в различных водоносных комплексах составляются для достаточно крупных артезианских бассейнов или водонапорных систем. На них показываются: границы гидрогеологического района (бассейн промышленных вод); границы распространения водоносного комплекса (или горизонта) в пределах гидрогеологического района; литолого-фациальная характеристика водовмещающих пород; основные скважины или группы скважин; минерализация и химический состав подземных вод; химический состав растворенных газов; концентрация в подземных водах йода, брома, бора, лития, стронция, цезия, рубидия и других компонентов, а при площадном их распространении — участки с повышенным содержанием микроэлементов.

Границы распространения водоносных комплексов могут совпадать с границами гидрогеологического района. Однако часто этого не наблюдается в связи с выклиниванием или фациальным замещением водоносных пород. Выявление и отражение этих границ необходимо, в частности, для правильной схематизации граничных гидрогеологических условий при оценке эксплуатационных запасов подземных вод.

Литолого-фациальная характеристика пород должна отражаться на картах в сжатом виде: указываются только основные литологические типы отложений (пески, песчаники, известняки, глинисто-песчаные, глинисто-карбонатные отложения и т. д.) и фациальные условия осадконакопления

(морские, лагунные, прибрежно-морские, континентальные). Сопоставление литолого-фациальных особенностей отложений с характером приуроченных к ним подземных вод позволяет уточнить представление о путях формирования этих вод, устойчивости закономерностей изменения их минерализации и химического состава, увязать параметры водоносных пород с их особенностями.

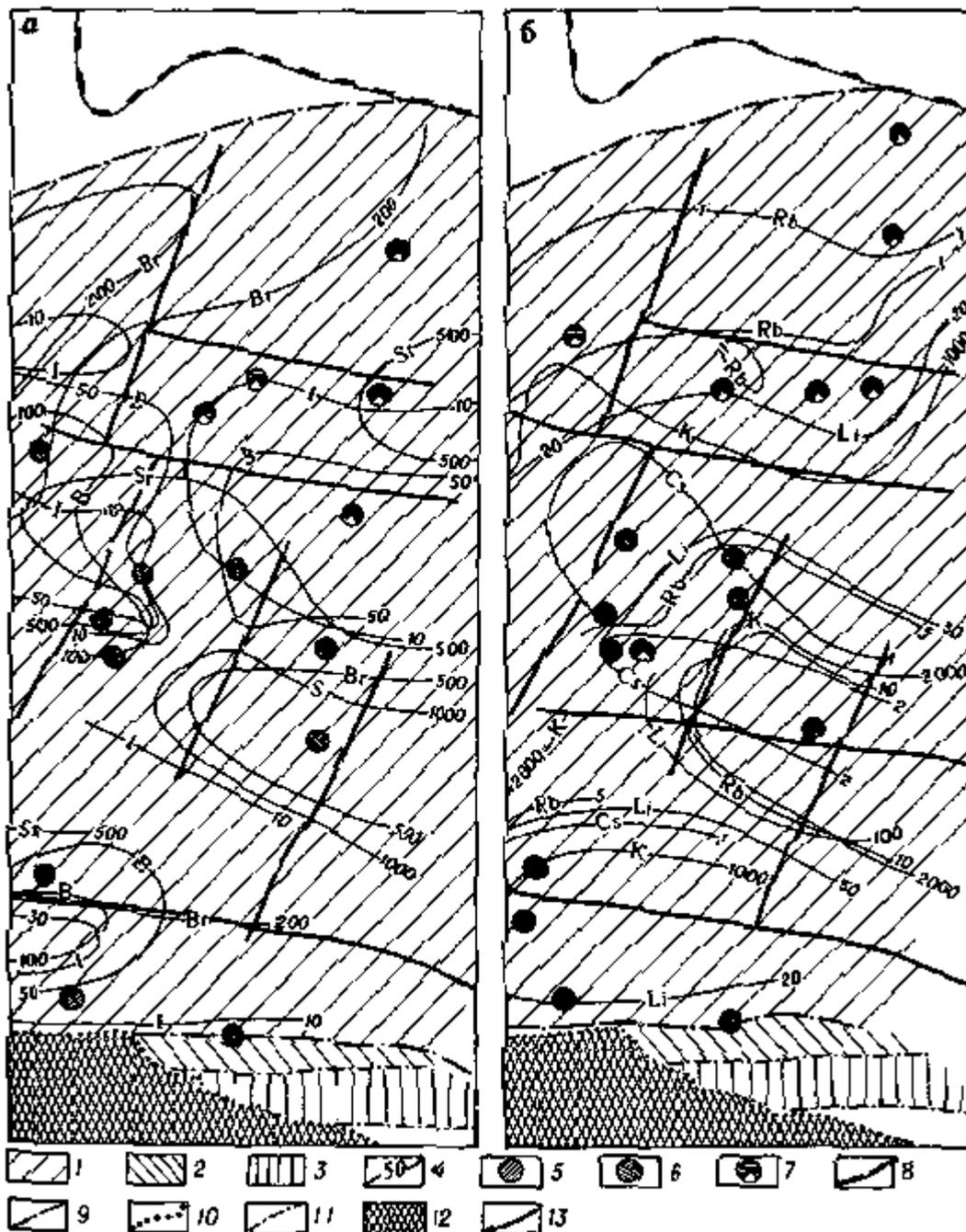


Рис. 28. Макет гидрогеохимической карты распространения I, Br, B, Sr(а). Li, Rb, Cs и K (б) в подземных промышленных водах водоносного комплекса.

Площади распространения различных типов подземных вод:

1 — хлоридных кальциево-натриевых, 2 — хлоридных натриевых, 3 — сульфатно-хлоридных кальциево-натриевых, 4 — изолинии концентраций микроэлементов (мг/л); *газовый состав подземных вод:* 5 — углеводородный, 6 — углеводородно-углекислый, 7 — углеводородно-азотный; *границы:* 8 — тектонического региона, 9 — гидрогеологического бассейна, 10 — распространения водоносного комплекса, 11 — распространения подземных вод различного состава, 12 — районы выхода водоносных пород на поверхность, 13 — тектонические нарушения

Основными показателями, которые приводятся на гидрогеохимических картах, являются

минерализация, химический состав воды и состав растворенных в них газов, концентрации йода, брома, бора, стронция, цезия, рубидия, лития, калия, магния и т. д. На таких картах минерализацию и химический состав подземных вод целесообразно показывать цветом, при этом в зависимости от гидрогеологических условий изучаемой территории могут быть приняты различные градации значений минерализации и предельные показатели химического состава подземных вод.

Например, в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна минерализация и состав подземных вод на значительных территориях изменяются в небольших пределах. Здесь для анализа гидрогеохимических закономерностей целесообразно предусматривать выделение зон распространения подземных вод различной минерализации и состава, используя дробную градацию. В районах Волго-Уральской области, где минерализация и состав подземных вод палеозойских отложений изменяются в весьма широких пределах, целесообразно увеличение пределов такой градации. При этом следует учитывать необходимость наглядного отражения гидрогеохимической зональности.

По газовому составу, учитывая особенности глубоких подземных вод, целесообразно выделить следующие их группы: углекислые, азотные, с углеводородными газами, с газами сложного состава (углеводородно-азотные, азотно-метановые, углекисло-сероводородные и т. д.). Особо следует отметить подземные воды, для которых характерно наличие сероводорода вследствие их большой агрессивности по отношению к металлу и высокой токсичности.

Следует иметь в виду различие в характере закономерностей распространения редких элементов. Концентрации брома и стронция обычно тесно увязываются с общей минерализацией подземных вод, и величины их удобно показывать в виде изолиний концентраций. Для йода и бора таких четких закономерностей не наблюдается, в связи с чем в ряде случаев приходится ограничиваться выделением зон распространения подземных вод с теми или иными концентрациями йода.

Карты динамики подземных вод и параметров водоносных комплексов должны включать элементы гидрогеологических условий, необходимые в качестве исходных данных для подсчета запасов подземных вод. На этих картах показываются: границы гидрогеологического района (бассейна йодобромных вод); границы распространения водоносного комплекса или горизонта; водопроницаемость пород и ее изменение в пределах территории распространения того или иного водоносного комплекса (горизонта); глубина залегания кровли водоносного комплекса (горизонта); изолинии приведенных пьезометрических напоров (приведенных давлений); область питания, создания напора и разгрузки подземных вод, а также районы выхода водовмещающих пород на поверхность; области возможного самоизлива (фонтанирования скважин); скважины или группы скважин; температура подземных вод.

Карты рассматриваемого типа должны включить все основные данные, необходимые для гидродинамических расчетов водозаборов в пределах месторождения промышленных вод. Основными картируемыми элементами являются в данном случае водопроницаемость пород и приведенные пьезометрические напоры (пластовые давления).

Выбор пределов изменения водопроницаемости, отраженной на карте, зависит от густоты сети опорных водопунктов, изученности этого параметра и изменчивости его в пределах картографируемой территории. Определение водопроницаемости производится в соответствии с методическими положениями, кратко изложенными в предыдущем разделе работы. Для оценки водопроницаемости пород, помимо результатов испытания скважин, должны быть в полной мере использованы материалы лабораторных исследований образцов керна, результаты промыслово-геофизических исследований в скважинах, методы корреляции разрезов скважин и т. д.

Распределение приведенных пьезометрических уровней характеризует направление и интенсивность подземного стока. Расчеты и построение карт приведенных уровней целесообразно выполнять в соответствии с методикой, изложенной в работах [6, 20].

Глубина залегания водоносного комплекса имеет значение для оценки перспектив использования промышленных вод, выбора предельных допустимых понижений уровня при подсчете эксплуатационных запасов. Выявление и нанесение на карту областей питания (создания напора) и разгрузки подземных вод необходимо для последующей схематизации гидрогеологических условий месторождений и гидродинамических расчетов. Изолинии пластовых температур строятся с использованием известных методов обработки результатов их измерений.

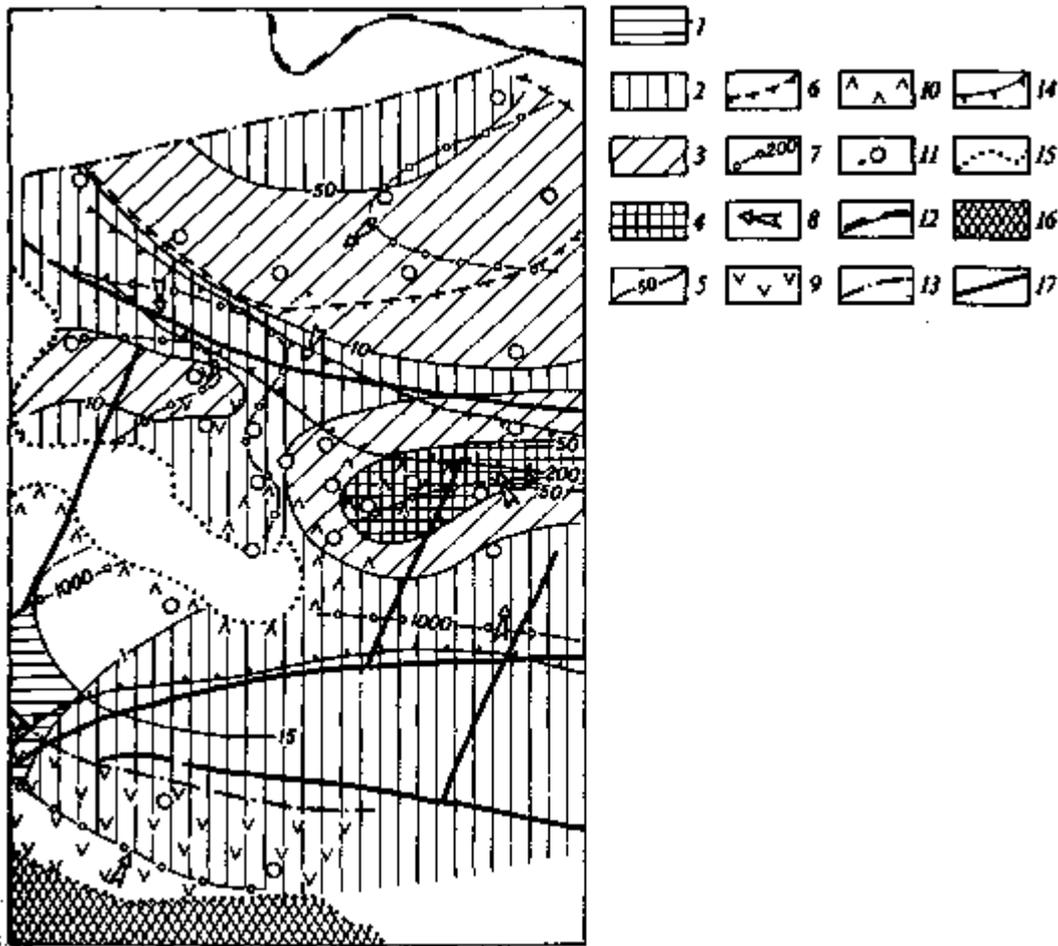


Рис. 29. Макет карты динамики подземных вод и параметров пород водоносного комплекса.

Области с различной водопроницаемостью пород ($m^2/сут$):

1 — до 1; 2 — от 1 до 10; 3 — от 10 до 50, 4 — свыше 50; 5 — изолинии водопроницаемости ($m^2/сут$), 6 — граница областей самоизлива подземных вод, 7 — изолинии приведенных гидростатических напоров, 8 — направление движения подземных вод; *области межпластовых изотоков:* 9 — из нижнемелового комплекса в юрский, 10 — из юрского в нижнемеловой, 11 — скважина или группа скважин, *границы:* 12 — тектонического региона, 13 — гидрогеологического бассейна, 14 — основных геос-структурных элементов, 15 — распространения водоносного комплекса, 16 — районы выхода пород водоносного комплекса на поверхность, 17 — тектонические нарушения

Карты прогнозных эксплуатационных запасов промышленных вод составляются на основе использования материалов и путем анализа двух предыдущих карт с учетом гидрогеологических и технико-экономических расчетов. На этих картах отражаются: границы гидрогеологического района (бассейна) и распространения пород водоносного комплекса (горизонта); распространение основных типов промышленных подземных вод (йодных, бромных, йодобромных, бороносных, литиевых и т. д.) и контуры месторождений этих вод; распространение непромышленных йодных, бромных, йодобромных и других типов вод, содержащих повышенные концентрации редких и рассеянных элементов; распространение пресных и соленых вод, которые по принимаемой в настоящей работе классификации не могут рассматриваться как специфические или промышленные по содержанию редких и рассеянных элементов; изменение концентраций в подземных водах основных промышленных компонентов; участки или районы (если таковые имеются), характеризующиеся повышенными концентрациями йода, брома, бора, лития, стронция, цезия, рубидия и др.; эксплуатационные и перспективные участки водозаборов в пределах месторождений промышленных вод; эксплуатационные и прогнозныe запасы промышленных вод, а также запасы полезных компонентов.

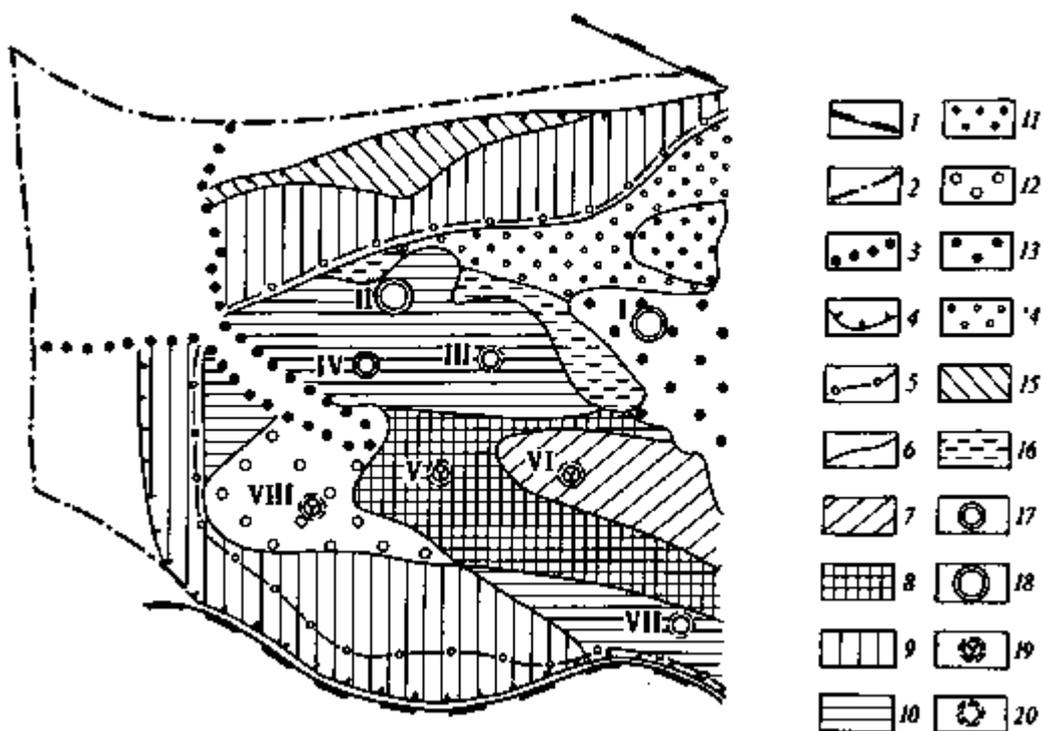


Рис. 30. Макет карты прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод.
Границы: 1 — провинции подземных промышленных вод, 2 — гидрогеологического района, 3 — распространения водоносного комплекса, 4 — месторождения подземных промышленных вод, 5 — балансовой части месторождения, 6 — распространения различных типов подземных промышленных вод; **площадь распространения промышленных вод:** 7 — литиево-рубидиевых бромно-борных стронциевых, 8 — литиево-рубидиево-цезиевых борных стронциевых, 9 — литиево-рубидиевых йодобромных, 10 — литиево-рубидиево-цезиевых борных, 11 — литиево-стронциевых, 12 — литиевых йодных, 13 — литиево-рубидиево-цезиевых йодных стронциевых, 14 — литиевых, 15 — литиево-рубидиевых, 16 — литиево-рубидиево цезиевых; **эксплуатационный участок (римские цифры слева — номер участка):** 17 — разрабатываемый, 18 — разведанный, 19 — перспективный по данным поисково-разведочных работ (в том числе на нефть и газ), 20 — перспективный по интерполяции и экстраполяции гидрогеологических данных

Границы месторождения (площади распространения подземных промышленных вод) устанавливаются с учетом минимальных промышленных концентраций полезных компонентов, обоснованных технико-экономическими расчетами. Особенности промышленных подземных вод и условий их эксплуатации позволяют оценивать запасы на конкретных участках. В соответствии со степенью изученности гидрогеологических условий эксплуатационные участки могут быть разрабатываемыми, специально разведанными и перспективными, если исходные расчетные данные для оценки запасов определены по данным опытных работ на скважинах или эти данные установлены путем экстраполяции и интерполяции имеющихся материалов на изученной части месторождения.

В некоторых случаях, особенно для месторождений платформенного типа, целесообразно показывать площади перспективные, малоперспективные и неперспективные по тем или иным причинам (большая глубина залегания водоносных пород, малая их водо-обильность и т. д.).

Картографирование подземных промышленных вод завершается составлением сводной карты месторождений и прогнозных Эксплуатационных запасов гидроминерального сырья. Эта карта дает представление о размещении на территории СССР месторождений промышленных вод, их особенностях, отражает масштабы распространения этих вод и размеры их эксплуатационных запасов.

Для иллюстрации принципов картографирования подземных промышленных вод на рис. 28 — 30 приводятся макеты гидрогеологических карт. В целях упрощения карт и уменьшения их картографической нагрузки на гидрогеохимических картах не показан литолого-фациальный состав водовмещающих пород. Помимо этого в тех же целях гидрогеохимические построения выполнены раздельно для вод, содержащих литий, цезий.

ГЛАВА 3

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Промышленные подземные воды, по сути дела, являются рудой, т. е. горной породой, из которой с помощью различных фирческих и химических воздействий может быть получена нужная обществу продукция. То, что эта руда находится в жидком состоянии, существенным образом определяет методику и технологию ее разведки, подсчета запасов добычи, переработки. Сказывается это и на некоторых методических приемах геолого-экономической оценки месторождений промышленных вод. Однако цели и задачи, принципы и методологические основы геолого-экономической оценки месторождений аналогичны для всех видов полезных ископаемых, в том числе и для месторождений промышленных подземных вод. Поэтому прежде всего рассмотрим общие проблемы геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Геолого-экономическая оценка месторождения полезных ископаемых представляет собой неотъемлемую часть геологоразведочного процесса на всех его этапах, начиная с поисков.

На поисковой стадии целью геолого-экономической оценки являются обоснование целесообразности постановки предварительной разведки и выделения перспективных участков для проведения разведочных работ. По результатам поисковых и поисково-оценочных работ составляется технико-экономическое обоснование, содержащее анализ народнохозяйственной значимости найденного месторождения и сравнительный анализ различных его участков по параметрам, влияющим на экономическую эффективность будущей эксплуатации.

По многим видам полезных ископаемых разработаны оценочные (браковочные) кондиции — минимальные требования к количеству и качеству полезного ископаемого, дифференцированные по геолого-генетическим типам и размерам месторождений, горногеологическим условиям их отработки, районам страны. Такие кондиции в значительной мере облегчают и делают более достоверной геолого-экономическую оценку месторождений на стадии поисково-оценочных работ [39].

На стадии предварительной разведки целью геолого-экономической оценки является обоснование целесообразности постановки детальных разведочных работ или отказа от дальнейшей разведки месторождения. На этой стадии должны быть решены следующие задачи:

- определены ожидаемые технико-экономические показатели будущей эксплуатации месторождения;
- обоснованы параметры временных кондиций для подсчета запасов полезных ископаемых;
- дана оценка народнохозяйственной значимости месторождения;

Результаты геолого-экономической оценки оформляются обычно в виде самостоятельного документа — технико-экономического доклада. Временные кондиции апробируются и утверждаются организацией, которая заказывает разведочные работы и будет в дальнейшем эксплуатировать месторождение.

На стадии детальной разведки целью геолого-экономической оценки является экономическое обоснование целесообразности вовлечения в народнохозяйственное использование разведанного месторождения, строительства, а при детальной разведке эксплуатируемого месторождения — расширения, реконструкции предприятия по добыче и переработке минерального сырья. На этой стадии составляется технико-экономический доклад, содержащий проект постоянных кондиций, которые утверждаются Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР) или Территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых Мингео СССР (ТКЗ). Требования к содержанию кондиций, их технико-экономическому обоснованию, порядку их расчета, рассмотрения и утверждения регламентированы специальной

Инструкцией ГКЗ СССР [21].

При переоценке запасов полезных ископаемых по данным эксплуатационной разведки, а также в других случаях, предусмотренных инструкциями ГКЗ СССР, геолого-экономическая оценка месторождений делается с целью обоснования и утверждения новых кондиций.

Результаты геолого-экономической оценки зависят не только от параметров самого месторождения, но и от многих внешних факторов, меняющихся во времени: потребности в том или ином виде минерального сырья, цены на него, развития техники добычи, технологии обогащения и извлечения, хозяйственного освоения района месторождений и т. п. Поэтому геолого-экономическая переоценка месторождений может проводиться и независимо от геологоразведочных работ при изменении одного или нескольких таких факторов. Характерная тенденция при этом заключается в снижении параметров кондиций и переводе забалансовых запасов в балансовые. К такому результату ведут и научно-технический прогресс в сфере добычи и переработки минерального сырья, и постоянное увеличение объемов его использования в народном хозяйстве.

На разных стадиях геологоразведочных работ и эксплуатации месторождений геолого-экономическая оценка имеет различную степень обоснованности, зависящую от наличия и достоверности исходных данных, используемых в расчетах. Так, если на стадии поисков большая часть экономических показателей будущей эксплуатации месторождений определяется по аналогии с показателями действующих предприятий, то на стадии предварительной и тем более детальной разведки геолого-экономическая оценка в значительной мере базируется на проектных расчетах, дающих основание для более обоснованных выводов. Наиболее достоверной является геолого-экономическая оценка (переоценка) эксплуатируемых месторождений, при которой используются реальные показатели действующих предприятий по добыче и переработке минерального сырья.

Несмотря на различия в полноте и достоверности исходной информации, геолого-экономическая оценка на всех стадиях геологоразведочного процесса должна делаться по единым правилам, на общей методологической основе, исходя из единых принципов. Основные принципы, которые должны соблюдаться, при геолого-экономической оценке месторождений, могут быть сформулированы следующим образом:

- максимальное использование разведанных запасов полезных ископаемых;
- рентабельность производства по добыче и переработке минерального сырья на уровне не ниже нормативной для данной отрасли;
- безубыточность добычи и переработки каждой единицы балансовых запасов;
- полный учет и соблюдение народнохозяйственных интересов.

Первые три из перечисленных принципов тесно связаны и взаимно дополняют друг друга. Ясно, что самая высокая рентабельность может быть обеспечена при отработке только наиболее богатых и доступных частей месторождения. Однако погоня за такой рентабельностью привела бы к нерациональному, хищническому использованию ограниченных природных ресурсов. Именно поэтому на первое место выдвигается принцип максимального вовлечения в народное хозяйство всех разведанных запасов. Нетрудно показать, что первые два принципа автоматически реализуются, если следовать принципу безубыточности добычи и переработки каждой единицы запасов. В этом случае кондиции, определяющие границу между балансовыми и забалансовыми запасами, выводятся из условия равенства цены получаемой продукции и себестоимости добычи и переработки сырья из худших частей месторождения. В результате в балансовые запасы попадают все части месторождения, отработка которых экономически целесообразна, а суммарная прибыль от эксплуатации месторождения достигает максимальной величины.

Учет и соблюдение народнохозяйственных интересов являются важнейшим и обязательным требованием к геолого-экономической оценке месторождения. Для выполнения этого требования необходимо:

- проанализировать текущую и перспективную потребность в продукции, которая может быть получена из минерального сырья оцениваемого месторождения, и возможные источники покрытия этой потребности с учетом действующих и проектируемых в СССР предприятий, а также экспортно-импортных операций;
- предусматривать максимально полное и комплексное использование минерального сырья, получение из него всех полезных компонентов, извлечение которых экономически целесообразно;
- предусматривать безусловное выполнение всех законодательных актов по охране окружающей среды, соблюдение природоохранных норм и нормативов;
- полностью учитывать затраты, возникающие в связи с освоением оцениваемого месторождения, в том числе и в других отраслях народного хозяйства (компенсация за изъятие или снижение

продуктивности сельскохозяйственных и лесных угодий, погашение затрат на геологоразведочные работы, капиталовложения в создание и развитие производственной и социальной инфраструктуры и т. п.);

учитывать народнохозяйственные планы промышленного и хозяйственного освоения новых территорий, строительства транспортных магистралей, создания территориально-промышленного комплекса (ТПК) и проведения других мероприятий по размещению производительных сил на территории страны.

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Начало теоретических и методических исследований проблемы геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых относится к концу прошлого века. Еще в 1887 г. Х. Хоскольдом была предложена формула для расчета цены месторождения, основанная на принципе капитализации прибыли от его эксплуатации. В несколько модернизированном виде эта формула и по сей день применяется в капиталистических странах для определения рыночной цены месторождений.

Большой вклад в развитие теории и практики геолого-экономической оценки месторождений внесли отечественные ученые А. Ф. Грауэрман, Л. П. Кузнецов, Б. И. Бокий, С. П. Протодьяконов Н. И. Трушков, В. С. Левоник, М. В. Крейтер, С. Я. Рачков-ский, С. А. Первушин, К. Л. Пожарицкий, М. И. Агошков, Н.А.Хрущев и др.

Начало современного этапа в разработке проблемы геологоэкономической оценки полезных ископаемых следует, по-видимому, отнести к 1955 г., когда по инициативе академиков В. А. Обручева и А. А. Скочинского были проведены специальные исследования, по результатам которых в 1957 г. К. Л. Пожарицкий опубликовал предложения. Согласно этим предложениям, критерием геолого-экономической оценки месторождения является его денежная оценка V_p , определяемая как сумма дисконтированной ренты за весь срок эксплуатации месторождения.

$$V_p = \sum_{t=1}^T \frac{A_t}{(1+r)^t}, \quad (59)$$

где A_t — чистый доход (рента) от эксплуатации месторождения в t -м году; r — учетная ставка дисконтирования, доля единицы; T — длительность эксплуатации месторождения, годы. В 1959 г. появилась работа Н. В. Володомонова, в которой также предлагается использовать горную ренту для оценки месторождений. На страницах журнала «Вопросы экономики» в 1968 г. развернулась дискуссия, в процессе которой были рассмотрены коренные, принципиальные вопросы экономической оценки природных ресурсов. В ней приняли участие ведущие ученые-экономисты страны С. Г. Струмилин, Ю. А. Сухотин, Н. П. Федоренко, Т. С. Хачатуров и многие другие исследователи, занимающиеся этой проблемой. В процессе дискуссии определились две точки зрения на природу экономической оценки ресурсов: трудовая и рентная. Первая заключается в том, что цена природного ресурса определяется количеством труда, затраченного на вовлечение этого ресурса в хозяйственное использование.

Подавляющее же большинство участников дискуссии высказалось за вторую точку зрения, в соответствии с которой цена природного ресурса должна определяться его общественной полезностью, исчисляемой как капитализированная рента при эксплуатации относительно лучших частей из общего наличия данного ресурса. Весьма ценным результатом этой дискуссии явилось признание правомочности понятия дифференциальной ренты в социалистической экономике. Большую роль сыграло и то обстоятельство, что дифференциальная рента и связанные с ней замыкающие затраты весьма плодотворно используются в экономико-математических моделях оптимального планирования.

В 1974 г. Временной научно-технической комиссией были разработаны Госкомитетом СССР по науке и технике и одобрены Основные положения методики экономической оценки месторождений полезных ископаемых. В дальнейшем была разработана Временная типовая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых, утвержденная постановлением ГКНТ и Госкомцен СССР в 1979 г. [12]. В соответствии с этим документом критерием для выбора оптимального варианта оконтуривания запасов, техники и технологии разработки месторождения, технологии переработки полезного ископаемого служит показатель расчетной денежной оценки месторождения

R_p , вычисляемый по формуле

$$R_p = \sum_{t=1}^T \frac{z_t - S_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t}, \quad (60)$$

где T — расчетный период оценки месторождения, исчисляемый от года проведения оценки ($t = 1$) до полной отработки ($t = T$); z_t — суммарная ценность годовой продукции, исчисляемая в оптовых ценах или замыкающих затратах t -го года; S_t — сумма капитальных и эксплуатационных (без реновации) затрат, осуществляемых в t -м году; $E_{\text{нп}}$ — норматив приведения разновременных затрат и результатов, принимаемый в размере 0,08.

В качестве окончательного выбирается вариант с максимальной величиной R_p . Горно-экономические параметры и показатели этого варианта — годовая мощность предприятия, срок отработки запасов и т. п. — рассматриваются как оптимальные, а запасы при расчетном бортовом содержании по данному варианту принимаются в качестве балансовых.

Временная типовая методика явилась вкладом в развитие теории и методологии экономической оценки месторождений полезных ископаемых. В то же время некоторые принципиальные вопросы в ней не были решены однозначно и остаются нерешенными. Наиболее оживленные дискуссии вызывают два вопроса: как следует исчислять ценность продукции z_t в формуле (60) — в оптовых ценах или замыкающих затратах — и насколько обоснован учет фактора времени путем дисконтирования, не искажает ли он результатов оценки?

Следует отметить, что предпосылки для такого рода дискуссий заложены в самой Временной типовой методике. В ней многократно повторяется формулировка «денежная оценка месторождений по оптовым ценам или по замыкающим затратам», хотя очевидно, что оценки одного и того же месторождения по оптовым ценам и по замыкающим затратам могут быть совершенно различными. В одном и том же пункте методики сначала утверждается, что оптимальный вариант выбирается по критерию R_p , а затем дается противоречащее этому указание: выбор оптимального варианта оконтуривания осуществляется без применения дисконтирования.

Рассмотрим эти дискуссионные вопросы подробнее.

ИЗМЕРЕНИЕ ЦЕННОСТИ ПРОДУКЦИИ

Как известно, в отраслях хозяйственной деятельности, непосредственно использующих природные ресурсы (сельское хозяйство, добывающая промышленность и т. п.), производительность труда зависит от свойств используемого ресурса и вследствие этого может существенно различаться на предприятиях, выпускающих одну и ту же продукцию, даже при одинаковом уровне их технической оснащенности. Поскольку лучшие, более производительные части природных ресурсов (богатые и доступные месторождения рудных ископаемых, плодородные почвы и т. п.) ограничены, для удовлетворения общественных потребностей в хозяйственное использование вовлекаются и относительно худшие, менее производительные части природных ресурсов.

В условиях рыночной экономики цены, по которым реализуется продукция природопользующих отраслей, контролируются издержками производства на относительно худших частях природных ресурсов. Предприниматель, использующий эти худшие части, не смог бы продолжать свою деятельность, если бы цены на его продукцию не компенсировали издержек и не обеспечивали хотя бы минимальную прибыль. При таком уровне цен владелец относительно лучших частей природного ресурса, имеющий более низкие издержки производства, получает дополнительную прибыль — Дифференциальную ренту II рода (применительно к месторождениям полезных ископаемых ее обычно называют горной рентой). Эта прибыль не создана трудом, но оплачена потребителем и поэтому представляет собой «ложную социальную стоимость», накопление которой является одной из причин бурной инфляции, характерной для экономики капиталистических стран.

Действующие и прогнозируемые рыночные цены на продукцию Добывающих отраслей широко используются для геолого-экономической оценки месторождений. Характерно при этом, что в результате оценки обычно дается несколько цифр запасов полезного ископаемого, каждая из которых связана с определенной ценой. В СССР оптовые цены на продукцию природопользующих отраслей устанавливаются на базе средних издержек производства. Усреднение делается в целом по отрасли или для массовой продукции сельскохозяйственная продукция, нефть, уголь, железная руда и т. п.) по районам, зонам, бассейнам. Предприятия, использующие наиболее производительные природные ресурсы, вносят в бюджет фиксированные рентные платежи. Предприятия же, использующие

относительно худшие природные ресурсы, получают из бюджета соответствующие дотации. Очевидным преимуществом такой системы ценообразования является то, что суммарная ценность произведенной продукции, измеренная в оптовых ценах, на уровне народного хозяйства (или любом другом уровне усреднения) соответствует суммарным затратам общественного труда и никакой ложной социальной стоимости при этом не образуется. Это обстоятельство дает основание считать, что применяемые в нашей стране оптовые цены на продукцию добывающих отраслей отражают в среднем общественно необходимые затраты труда.

Однако геолого-экономическая оценка делается не «в среднем», а применительно к совершенно конкретному месторождению, участку, предприятию. Что же получится, если ценность продукции Z_t в формуле (60) будет измерена в оптовых ценах? Очевидно, что добавление любой единицы запасов, для которой $Z_t < S_t$, приведет к снижению величины критерия R_p . Следовательно, оптимальным вариантом оконтуривания месторождения окажется такой, при котором в балансовые запасы войдут только те части месторождения, для которых издержки производства не превышают оптовой цены продукции ($z_t > S_t$). За пределами баланса останутся те части месторождения, для которых издержки производства на единицу продукции будут выше ее оптовой цены, хотя и ниже издержек производства на многих других месторождениях, использование которых в настоящее время необходимо для удовлетворения потребности общества.

Подобная оценка месторождения была бы правомочной только в том случае, если бы качество используемого минерального сырья постоянно повышалось, цены на продукцию добывающих отраслей систематически снижались и можно было бы рассчитывать на то, что относительно худшие части оцениваемого месторождения в будущем просто не понадобятся. Такое предположение, однако, полностью противоречило бы реальному положению вещей.

Непрерывно возрастающая потребность в минеральном сырье и истощение запасов богатых и легкодоступных месторождений определяют необходимость использования сырья более низкого качества, считавшегося ранее нерентабельным для отработки [26, 45].

Научно-технический прогресс в области добычи и переработки минерального сырья, хотя и компенсирует частично отрицательное влияние снижения качества используемых минеральных ресурсов, полностью нейтрализовать это влияние не может, вследствие чего и в нашей стране, и во всем мире наблюдается устойчивая тенденция к неуклонному повышению цен на продукцию добывающих отраслей. Отсюда вытекает, что если разработка запасов определенного качества в настоящее время признана экономически выгодной, то в дальнейшем целесообразность использования запасов того же качества может только повыситься, а не наоборот [26].

Таким образом, очевидно, что геолого-экономическая оценка месторождения путем использования оптовых цен, базирующихся на усредненных издержках производства, является неверной; она не отвечает требованиям бережного, рационального расходования минерально-сырьевых ресурсов, ведет к занижению балансовых запасов. Конечно, запасы, отнесенные при такой оценке к забалансовым, не пропадут. Можно не сомневаться, что после отработки лучших частей месторождения они будут взяты на баланс и добыты. Однако изначально неверное определение балансовых запасов, мощности добывающего и перерабатывающего предприятий, системы отработки месторождения чревато большими материальными потерями в будущем. Правильная экономическая оценка месторождения, реализующая принцип рационального использования недр, может быть дана только на основе измерения ценности получаемой продукции в замыкающих затратах.

Замыкающие затраты представляют собой специфическую категорию, экономическое содержание которой в самом общем виде определяется следующим.

Труд и природные ресурсы взаимозаменяемы в весьма широком диапазоне. Всегда имеется возможность с помощью дополнительных затрат труда удовлетворить потребность общества в данном ресурсе, либо увеличив его наличие, либо сократив потребление. В первом случае труд должен быть вложен в расширенное воспроизводство этого ресурса, во втором — в сферу потребления продукции, производимой с помощью этого ресурса (применение заменителей, безотходные технологии, вторичное использование и т. п.). Природные ресурсы практически неограниченны, но ограничены их относительно лучшие части. Количество же труда, которым располагает общество в каждый период времени, действительно ограничено. Поэтому всегда имеется предел трудовых затрат, которые общество может выделить для получения дополнительной единицы данного ресурса или для того, чтобы сэкономить эту единицу. Замыкающие затраты и есть денежное выражение этого предела трудовых затрат.

В экономической литературе иногда высказывается мнение, что применение замыкающих затрат противоречит положениям трудовой теории стоимости. Поэтому особенно важно подчеркнуть, что в

основе замыкающих затрат лежат общественно необходимые затраты труда. Отличие замыкающих затрат от оптовых цен заключается в том, что оптовые цены отражают общественно необходимые затраты труда при фиксированной структуре производства и потребления. Замыкающие затраты — природный показатель, отражающий общественно необходимые затраты труда на изменение существующей структуры производства и потребления. Одновременное существование и оптовых цен, и замыкающих затрат не вызывает никаких противоречий, поскольку каждый из этих показателей имеет свою сферу применения и сферы эти не пересекаются. Оптовые цены должны выполнять свои обычные функции в сфере текущего хозяйственного регулирования на основе товарно-денежных отношений хозрасчетных предприятий между собой и с государством. Замыкающие затраты должны служить основанием для решения плановых и проектных задач, связанных с изменением объема использования в народном хозяйстве того или иного природного ресурса. Подобные задачи многочисленны и разнообразны. Помимо геолого-экономической оценки месторождений можно назвать такие проблемы, как обоснование допустимых потерь полезных ископаемых при добыче; оценка эффективности технических решений по повышению комплексности и полноты извлечения полезных компонентов из минерального сырья или мер по сокращению расхода дефицитного сырья, применения заменителей; экономического обоснования размеров компенсаций и штрафов за изъятие или порчу природного ресурса и т. д. Являясь государственным нормативом, замыкающие затраты дают возможность решать такие задачи на локальном уровне исходя из народнохозяйственных интересов.

Замыкающие затраты, как и оптовые цены, могут быть едиными для всей страны или зональными. Зональные замыкающие затраты устанавливаются в случае замкнутых зон потребления минерального сырья в районе его добычи.

Замыкающие затраты являются достаточно сложной экономической категорией, и практическое определение их нормативной величины представляет собой самостоятельную методическую проблему. Наиболее точно замыкающие затраты определяются на основе оптимизационных вариантных расчетов перспективных планов развития и размещения производительных сил. Уровень замыкающих затрат определяется из двойственного решения математических моделей оптимального перспективного плана развития добывающих отраслей, в котором достигается минимум затрат у производителей и максимум эффекта у потребителей данных природных ресурсов. Методы оптимального планирования, включающие обоснование величины замыкающих затрат, разработаны в ЦЭМИ АН СССР и в настоящее время внедряются в практику, хотя и не нашли еще достаточно широкого применения. Поэтому типовой методикой [2] рекомендуется упрощенный способ приближенного расчета замыкающих затрат методом ранжирования месторождений или их частей по величине приведенных затрат на получение конечной продукции из добываемого сырья. В ранжируемый перечень включаются все действующие и резервные месторождения или их части, а также предприятия по производству всех видов замещающей продукции того же назначения. Отдельные месторождения с высоким уровнем затрат, продолжение разработки которых обусловлено социальными факторами, в перечень не включаются.

В качестве замыкающих затрат принимаются индивидуальные затраты по объекту, завершающему ряд лучших предприятий, обеспечивающих в сумме плановую потребность в данной продукции. Поясним сказанное на простейшем примере, приведенном в табл. 32.

Предположим, что потребность в данной продукции составляет 1000 ед. в год. Для покрытия этой потребности необходимо использовать предприятия 1, 2, 3, 4, 5 и частично 6 (200 ед. в год). Остальная часть мощности предприятия 6 (50 ед. в год) и предприятий 7 и 8 будет рассматриваться как резервная. Замыкающие затраты в этом случае должны быть установлены в размере индивидуальной стоимости на предприятии 6, т. е. — 18 руб. на единицу продукции. Заметим, что оптовая цена при такой структуре производства должна составить: $(200 \cdot 10 + 150 \cdot 12 + 300 \cdot 14 + 50 \cdot 15 + 100 \cdot 17 + 200 \cdot 18) : 1000 = 14,05$ руб/ед.

На том же примере легко проследить механизм изменения величины замыкающих затрат под влиянием различных факторов и роль, которую играют замыкающие затраты в решении различных хозяйственных задач.

Предположим, например, что потребность в продукции возросла до 1100 ед. в год в связи с возможностью экспорта 100 ед. При этом потребуются вовлечь в хозяйственное использование предприятие 7, и замыкающие затраты составят 20 руб., причем экспортные цены должны определяться именно замыкающими затратами, иначе наша внешняя торговля окажется убыточной.

Предположим далее, что месторождение 3 выбывает из хозяйственного использования, например, вследствие его затопления водохранилищем проектируемой ГЭС. Для покрытия потребности в 1000 ед. придется включить резервные мощности 6, 7 и 8-го месторождений, и замыкающие затраты будут установлены на уровне 25 руб. Какой ущерб принесет это народному хозяйству? Если ориентироваться на оптовую цену, то ущерб будет минимальным и составит $(14,05 - 14,00) \cdot 300 + 300 = 15$ усл. руб. В действительности же ущерб от замены предприятия 3 замыкающими предприятиями 6, 7 и 8 составит: $50(18 - 14) + 200(20 - 14) + 50(25 - 14) = 1950$ усл. руб. Не исключено, что подсчет реального ущерба от затопления месторождения 3 может решающим образом изменить представления о целесообразности строительства ГЭС.

Таблица 32

Расчет замыкающих затрат методом ранжирования (цифры условные)

№ п/п	Стоимость получения единицы продукции, усл. руб/ед.	Годовая мощность по выпуску продукции, ед/год	Годовая потребность, ед.			
			1000	1100	800	1000
1	10	200	+	+	+	+
2	12	150	+	+	+	+
3	14	300	+	+	+	+
4	15	50	+	+	+	+
5	17	100	+	+	+	+
6	18	250	+(200ед.)	+	—	+
7	20	200	—	+(50 ед.)	—	+
8	25	400	—	—	—	+(50 ед.)

Предположим, наконец, что найдена техническая возможность сократить потребность в данной продукции до 800 ед. в год, применив вместо нее заменитель стоимостью 15,5 усл. руб. в расчете на единицу заменяемой продукции. При этом отпадает необходимость использования месторождения 6, и замыкающие затраты устанавливаются по стоимости продукции на месторождении 5 — 17 усл. руб. Является ли такая замена целесообразной? С точки зрения предприятия, получающего заменяемую продукцию по оптовой цене 14,05 руб., — нет. Его расходы при этом возрастут на $(15,5 - 14,05) \cdot 200 = 290$ усл. руб. Для народного же хозяйства такая замена дает годовой экономический эффект в размере $(18 - 16) \cdot 200 = 400$ усл. руб.

Подобные примеры можно было бы продолжить, но и из сказанного ясны основные зависимости уровня замыкающих затрат от наличия минеральных ресурсов различного качества и общественной потребности в продукции добывающих отраслей, а также механизм использования замыкающих затрат в решении различных экономических задач.

Изложенный метод расчета замыкающих затрат привлекает своей простотой и наглядностью. Однако следует иметь в виду и его условность, которая определяется следующими обстоятельствами.

Во-первых, в этом методе рассматривается только сфера производства продукции, сфера же ее потребления фигурирует в виде ограничения — заданной потребности. Подразумевается, что заданное потребление продукции оптимально. В действительности между производством и потреблением существует обратная связь, и потребность в продукции проявляет заметную эластичность в зависимости от стоимости ее производства. Поэтому обоснованные нормативы замыкающих затрат могут быть определены только при совместном рассмотрении сфер производства и потребления, чего метод ранжирования не обеспечивает.

Во-вторых, метод ранжирования дает фиксированную во времени величину замыкающих затрат. Приведенные выше примеры наглядно иллюстрируют, как чувствительны нормативы замыкающих затрат к изменениям конъюнктуры как в сфере производства, так и в сфере потребления продукции. Геолого-экономическая оценка месторождений ориентирована на длительный период, в течение которого произойдут большие изменения: могут быть открыты новые месторождения и отработаны старые, появятся новые технические средства и технологии добычи и переработки сырья, многократно будет меняться потребность в нем и т. д. Соответственно будут меняться и нормативы замыкающих затрат. Поэтому для обоснованной экономической оценки месторождений нужны перспективные нормативы замыкающих затрат, учитывающие по мере возможности прогноз изменения влияющих на них факторов общественного производства. С помощью метода ранжирования такая задача не решается.

Прогноз изменения экономических показателей, в частности замыкающих затрат, представляет собой сложную аналитическую задачу, решение которой даже при использовании всей имеющейся информации носит вероятностный характер. Стремление упростить эту задачу вызвало ряд оригинальных предложений по измерению при геолого-экономической оценке месторождений ценности продукции добывающих отраслей с учетом ее изменений в перспективе.

И. С. Тышляр и В. В. Дроздов [45] предложили учитывать изменение ценности получаемой продукции с помощью формулы сложных процентов

$$z_t = z_{ст} (1 + r)^t,$$

где z_t — ценность продукции в t -м году; $z_{ст}$ — стартовый (начальный) уровень замыкающих затрат; r — коэффициент, отражающий тенденцию к удорожанию минерального сырья.

На основе анализа динамики затрат на добычу и транспортировку природного газа за последние 10

лет авторы этого предложения установили, что для данного вида минерального сырья можно принять $r = 0,04-0,05$.

Такой прием привлекателен тем, что переводит задачу прогноза изменения замыкающих затрат из сложных аналитических в простые расчетные. Однако он слишком формален. Стоимость продукции рассматривается здесь как функция времени, хотя в действительности она является функцией других аргументов (усложнение горно-геологических условий добычи газа, удаление от основных потребителей новых месторождений, их расположение в труднодоступных и неосвоенных районах и т. п.). Конечно, все процессы происходят во времени, но подмена реальных факторов, влияющих на экономические показатели, аргументом времени уже дискредитировала себя в общеизвестной и многократно осужденной практике планирования «от достигнутого».

Очевидно, что обоснованные расчеты перспективных замыкающих затрат должны базироваться на более сложных и строгих методах оптимального планирования и прогнозирования.

Дальнейшим развитием и углублением теоретических представлений об измерении ценности продукции добывающих отраслей явилось разработанное А. С. Астаховым понятие компенсирующих затрат [1]. Это понятие отражает тот факт, что компенсация повышения потребности в минимальном сырье (или его потери, выбытия из народнохозяйственного использования одного из его источников и т. п.) происходит в реальной жизни не всегда за счет ввода замыкающего источника, но гораздо чаще — за счет интенсификации добычи на действующих предприятиях. Вследствие этого общество вынуждено идти на дополнительные, компенсирующие затраты, которые в данный момент значительно меньше, чем те, которые оказались бы необходимыми при вводе замыкающих ресурсов. Конечно, интенсификация добычи на действующих месторождениях приближает срок их отработки и необходимость вовлечения замыкающих ресурсов, но этот прирост затрат отдален во времени и может учитываться в дисконтированном размере. Таким образом, замыкающие затраты оказываются частным случаем более общего понятия компенсирующих затрат, отражающим ситуацию, в которой сокращение производства или повышение потребности в минеральном сырье может быть компенсировано только привлечением замыкающих источников его получения.

Концепция компенсирующих затрат весьма плодотворна. Она верно отражает реальную постановку хозяйственных задач в области управления минеральными ресурсами. Компенсирующие затраты более пригодны к использованию их на уровне предприятий, шахт, рудников, участков, чем замыкающие затраты, которые родились в сфере макропроблем оптимизации перспектив развития минерально-сырьевого комплекса. В то же время следует иметь в виду, что практические варианты компенсации чрезвычайно разнообразны и едва ли не индивидуальны для каждого добывающего предприятия. К тому же они быстро меняются с течением времени. Поэтому текущее и перспективное нормирование компенсирующих затрат представляется очень сложной задачей.

Таковы в самом кратком изложении основные теоретические представления об измерении ценности продукции при геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. В настоящее время эти представления можно считать общепринятыми и с научной точки зрения вполне обоснованными. Тем не менее существующая практика геолого-экономической оценки находится в явном противоречии с теорией: в подавляющем большинстве случаев для измерения ценности получаемой продукции применяются не перспективные замыкающие затраты, а действующие оптовые цены. Очевидно, что нормативы замыкающих затрат на текущий период и плановую перспективу могут служить действенным инструментом обоснования и оптимизации планов развития минерально-сырьевой базы и должны активно использоваться для повышения эффективности общественного производства. Разработка нормативов замыкающих затрат является в настоящее время одним из наиболее актуальных направлений экономической работы в нашей стране.

УЧЕТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

Учет фактора времени важен при принятии любых хозяйственных решений. С особой остротой эта проблема проявляется при геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых, поскольку такая оценка охватывает длительную перспективу, включающую периоды строительства горнодобывающего предприятия и его эксплуатацию вплоть до исчерпания оцениваемых запасов полезного ископаемого. Ошибочные решения, принятые при геолого-экономической оценке месторождения, могут привести впоследствии к крупным, порой невозполнимым ущербам.

В соответствии с Типовой методикой критерием для выбора оптимального варианта отработки месторождения является максимум его денежной оценки R_p , вычисляемой по формуле (60). Физический смысл этого показателя вполне ясен: это сумма годовой прибыли, дисконтированной по

общепринятой формуле сложных процентов за весь срок строительства T_c и эксплуатации горнодобывающего предприятия. Для уточнения следует заметить, что в периоды строительства или реконструкции предприятия «прибыль» ($z_t - S_t$) может быть отрицательной величиной, а срок T правильнее определить как число лет от года, применительно к которому делается оценка, до года завершения отработки оцениваемых балансовых запасов.

В 1978 — 1979 гг. ВИЭМС и проектными институтами Минцвет-мета СССР и Минчермета СССР с участием ГКЗ СССР проводились экспериментальная оценка разведанных рудных месторождений с применением критерия R_p и сравнение полученных результатов с оценкой этих же месторождений по другим, ранее применявшимся критериям выбора оптимального варианта. В результате этих исследований получены следующие выводы:

применение критерия R_p ведет к резкому ужесточению кондиций для оконтуривания балансовых запасов полезных ископаемых и, следовательно, к занижению этих запасов;

применение критерия R_p приводит к неестественной динамике геолого-экономических параметров месторождения, в результате чего стоимость продукции оказывается зависящей только от производительности рудника, содержания металла в руде и коэффициента дисконтирования и совершенно не зависящей от цены на продукцию; вследствие этого некоторые части запасов полезных ископаемых не могут быть включены в баланс, как бы высока ни была цена на продукцию;

получение таких, безусловно ошибочных результатов оценки месторождений по критерию R_p является следствием дисконтирования будущей прибыли по формуле сложных процентов; без дисконтирования, т. е. по критерию суммарной прибыли за несколько лет, оценка месторождений будет правильной.

Эти выводы, опубликованные в статьях [16, 26], кажутся парадоксальными. Трудно представить, чтобы такая простая и понятная операция, как дисконтирование, могла бы привести к таким серьезным и непредсказуемым последствиям.

Посмотрим, прежде всего, чем отличается показатель R_p от того, же показателя без дисконтирования — R_p' .

$$R_p' = \sum_{t=1}^T (z_t - S_t).$$

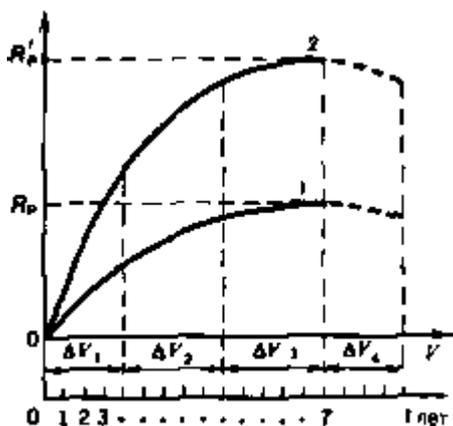


Рис. 31. Зависимость денежных оценок месторождения от величины балансовых запасов:

1 — с дисконтированием; 2 — без дисконтирования

Проанализируем зависимости $R_p = f(V)$ и $R_p' = f(V)$, где V — балансовые запасы. Построим график зависимости $R_p = f(V)$, моделируя при этом нормальный процесс отыскания бортовых кондиций: сначала в балансовые запасы включим лучшие части месторождений ΔV_1 , затем с каждым последующим вариантом контуры балансовых запасов будут расширяться за счет добавки все более бедных или труднодоступных частей месторождения ΔV_2 , ΔV_3 , и так до тех пор, пока очередная добавка не окажется невыгодной ΔV_4 (рис. 31). Кривая 2 имеет максимум при значении аргумента V_6 , которое и является величиной балансовых запасов.

Далее предположим, что запасы добываются в той же последовательности, в какой они включались в балансовые при обосновании бортовых кондиций, т. е. сначала лучшие их части, а с течением времени — все более бедные. Это предположение вполне корректно: оно не только соответствует

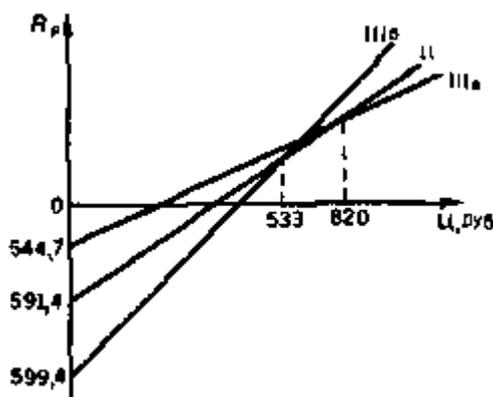


Рис. 32. Зависимости денежных оценок месторождения R от цены получаемой продукции C по вариантам II, IIIa, и IIIб

общепринятой логике хозяйственных решений, но и отвечает формальным требованиям типовой методики, поскольку критерий R_p при прочих равных параметрах достигает максимума именно при такой последовательности отработки месторождения.

Сделав такое предположение, мы можем заменить аргумент V на время t , совместив по оси абсцисс момент завершения отработки балансовых запасов T с точкой V_6 . Строго говоря, такая замена аргумента не меняет кривой $R_p=f(V)$ только при наличии линейной зависимости между заменяемыми аргументами

$$V_6 = V_e (T - t_0),$$

где V_e — годовая добыча, неизменная в течение срока отработки балансовых запасов. Но даже если V будет величиной переменной, то при замене аргумента кривая $R' = f(V)$ только деформируется, не меняя при этом своих характерных, важных для нашего анализа особенностей. Поэтому полагаем, что $R_p=f(V) = f(t)$.

Далее построим кривую $R_p=f(t)$, дисконтируя в каждый момент времени приращение функции $R_p = f(t)$. Очевидно, получим кривую, подобную функции $R_p = f(t)$, но более пологую (см. рис. 31). Важнейшим фактом, вытекающим из рассмотрения этих кривых, является совпадение максимумов функций R_p и R_p . Из этого следует, что балансовые запасы, оконтуренные по любому из этих критериев, будут одинаковыми и никакого ужесточения кондиций при дисконтировании не происходит.

На рис. 32 для упрощения показан только период отработки месторождения и не приведен период строительства предприятия. Учет в составе R_p и R_p затрат в период строительства равносильен смещению начальных точек отсчета (вниз по оси ординат и влево по оси абсцисс) и никоим образом не влияет на характер построенных кривых.

Следует заметить, что графики функций R_p и R_p приведены только для наглядности. К аналогичному выводу можно было прийти и с помощью простейших рассуждений. Действительно, критерий R'_p будет максимальным, если в состав балансовых войдут все запасы, для каждой единицы которых удельный показатель $(z - S) > 0$. Ясно также, что никаким дисконтированием нельзя превратить положительную величину в отрицательную и включение в баланс тех же единиц запасов будет увеличивать критерий R_p . Аналогичным образом отрицательные величины при дисконтировании остаются отрицательными, и включение в баланс тех единиц запасов, для которых $(z - S) < 0$, приводит к снижению величин как критерия R_p , так и R_p .

Почему же все-таки возникло мнение, что дисконтирование искажает результаты геолого-экономической оценки месторождения? Для выяснения этого вопроса воспроизведем пример, на котором в работе [16] доказывается обоснованность такого мнения.

В примере рассматриваются три варианта оконтуривания месторождения, основные геологические и технико-экономические показатели которых приведены в табл. 33.

Как видно из табл. 33, суммарный эффект без дисконтирования оказался максимальным во II варианте, а с дисконтированием — в I. Ужесточение бортовых кондиций при дисконтировании, казалось бы, очевидно. Но порядок расчета приведенных показателей вызывает серьезные возражения. Для их упрощения принималось, что годовые эксплуатационные расходы и стоимость годовой продукции, а следовательно, годовая прибыль одинаковы в течение всего срока отработки запасов. Такое допущение не является вполне корректным и прежде всего не соответствует реальному положению вещей. Оно противоречит элементарным правилам вычисления средних показателей: нельзя усреднять совместно качественно разнородные совокупности, в данном случае — балансовые и забалансовые запасы. И наконец, оно игнорирует требование типовой методики о максимизации критерия R_p , которая достигается, очевидно, не одним только правильным оконтуриванием запасов, но наряду с прочими мерами — наиболее выгодной последовательностью отработки этих запасов.

Пересчитаем тот же самый пример, исходя из вполне естественного предположения, что в любом варианте сначала будут отработаны лучшие части месторождения (100 млн. т с содержанием 2%), затем — первое приращение (50 млн. т с содержанием 1,2%) и в последнюю очередь — бедные запасы (50 млн. т с содержанием 0,5%). Для упрощения расчетов будем пользоваться средними показателями стоимости продукции и прибыли, но только по качественно однородным частям запасов. I вариант можно не пересчитывать, так как в нем все запасы однородны; II вариант будет выглядеть так: первые три года идет строительство с ежегодными затратами 52 млн. руб. Дисконтированная сумма затрат составляет $52 \times X \times 2,575 = 133,9$ млн. руб. (расчетные показатели дисконтирования приведены в табл. 34). Затем в течение $100:6=16,7$ лет будет отрабатываться лучшая часть месторождения. Ежегодно будет добываться 6 млн. т руды с содержанием 2%, и годовая стоимость продукции составит $6 \times 0,2 \times 860 = 103,2$ млн. руб., а прибыль — $103,2 - 54,0 = 49,2$ млн. руб.

Показатель суммирования с дисконтированием за период от 4 до 19,7 лет равен 7,175. Приращение денежной оценки за этот период составит $49,2 - 7,18 = 353$ млн. руб. Затем в период от $t=19,7$ до $T = 28$ лет будет добываться руда с содержанием 1,2% и средняя годовая прибыль составит $6 * 0,012 * 860 - 54 = 7,92$ млн. руб. Показатель суммирования с дисконтированием за этот период равен 1,298, а прирост денежной оценки составит $7,92 * 1,298 = 10,3$ млн. руб. Следовательно, во II варианте $R_p = -133,9 + 353 + 10,3 = 229,4$ млн. руб.

Таблица 33

Основные показатели вариантов оконтуривания месторождения

Показатель	Единица измерения	Варианты		
		I	II	III
Запасы руды	МЛН. Т	100	150	200
Содержание металла:	%	2	1,73	1,42
в том числе в приращении	%	—	1,2	0,5
Конечный продукт	тыс. т	2000	2600	2850
Цена конечного продукта	руб/т	860	860	860
Годовая производительность по:				
руде	млн. т	5	6	6,7
металлу	тыс. т	100	104	95
Срок отработки	лет	20	25	30
Общие капиталовложения	млн. руб.	150	156	168
Срок строительства	лет	2	3	5
Себестоимость на 1 т руды без реновации	руб/т	10	9	8
Стоимость годовой продукции	млн. руб.	86	89,44	81,70
Стоимость продукции за T лет	млн. руб.	1720	2236	2451
Суммарный эффект без дисконтирования	млн. руб.	570	730	683
Суммарный эффект с дисконтированием	млн. руб.	169	166	83

Такой же расчет по III варианту дает следующие результаты: дисконтированные затраты за 5 лет строительства составят $33,6 - 33,9 = -134,1$ млн. руб.; дисконтированная прибыль от отработки запасов с содержанием 2% в период с 6-го по 20-й год — $61,64 - 5,825 = 359$ млн. руб.; дисконтированная прибыль от отработки запасов с содержанием 1,2% в период с 21-го по 27,5-й год — $15,54 - 1,175 = 18,3$ млн. руб.; дисконтированный убыток от отработки запасов с содержанием 0,5% за период с 27,5-го по 35-й год — $24,79 - 0,661 = 16,4$ млн. руб. Итого в III варианте $R_p = -134,1 + 359 + 18,3 - 16,4 = 226,8$ млн. руб.

Как и следовало ожидать, оптимальное оконтуривание оказа-лось одинаковым как с дисконтированием, так и без него: лучшим из рассмотренных вариантов является II.

Дисконтирование не только не ужесточает бортовых кондиций, но более того, при определенных соотношениях параметров оцени-ваемого месторождения может привести к их снижению. Поясним механизм этого явления.

Графики на рис. 31 построены исходя из предположения о литейной зависимости между V и T . В действительности же зависимость эта нелинейна. Чем больше балансовых запасов, тем выше, как правило, годовая производительность добывающего предприятия, вследствие чего по мере приращения от варианта к варианту включаемых в контур запасов, во-первых, снижается себестоимость их добычи и, во-вторых, приближаются сроки отработки наиболее богатых частей месторождения. В результате этого дисконтированная денежная оценка лучших частей месторождения возрастает, что дает возможность в ряде случаев, не снижая величины критерия R_p , включить в баланс даже некоторое количество нерентабельных для отработки запасов, тем более, что ущерб от их использования будет дисконтирован в 10 — 15 раз.

Таблица 34

Расчетные показатели дисконтирования при $E_{\text{нп}}=0,08$

t	$t^{1,08}$	$t^{-1,08}$	t $Z t^{-1,08}$ $t=1$	t	$t^{1,08}$	$t^{-1,08}$	t $Z t^{-1,08}$ $t=1$
1	1,08	0,926	0,926	21	5,03	0,199	10,014
2	1,17	0,855	1,781	22	5,44	0,184	10,158
3	1,26	0,794	2,575	23	5,87	0,170	10,368
4	1,36	0,735	3,310	24	6,34	0,158	10,526
5	1,47	0,680	3,990	25	6,85	0,146	10,672
6	1,59	0,629	4,619	26	7,40	0,135	10,807
7	1,71	0,585	5,204	27	7,99	0,125	10,932
8	1,85	0,541	5,745	28	8,63	0,116	11,048
9	2,00	0,500	6,245	29	9,32	0,107	11,155
10	2,16	0,463	6,708	30	10,06	0,099	11,254
11	2,33	0,429	7,137	31	10,86	0,092	11,346
12	2,52	0,387	7,534	32	11,74	0,085	11,431
13	2,72	0,368	7,902	33	12,68	0,079	11,510
14	2,94	0,340	8,242	34	13,69	0,073	11,583
15	3,17	0,315	8,557	35	14,76	0,068	11,651
16	3,43	0,292	8,849	36	15,97	0,063	11,714
17	3,70	0,270	9,119	37	17,25	0,058	11,772
18	4,00	0,250	9,369	38	18,63	0,054	11,826
19	4,32	0,231	9,600	39	20,12	0,050	11,876
20	4,66	0,215	9,815	40	21,72	0,046	11,922

Рассмотрим это на том же примере (см. табл. 33), исключив затраты и время на строительство предприятия и полагая $t=1$ в год начала добычи.

Лучшая часть месторождения с содержанием 2% в I варианте будет отработана за 20 лет при себестоимости 10 руб/т и получит денежную оценку ($5 \cdot 0,02 \cdot 860 - 5 \cdot 10$) 9,815 = 353,34 млн. руб.; во II варианте — за 16,7 лет при себестоимости 9 руб/т и получит оценку ($6 \cdot 0,02 \cdot 860 - 6 \cdot 9$) 9,029 = 444,23 млн. руб.; в III варианте — за 15 лет при себестоимости 8 руб/т и получит оценку ($6,7 \cdot 0,02 \cdot 860 - 6,7 \cdot 8$) 8,557 = 527,45 млн. руб.

Часть месторождения с содержанием 1,2% во II варианте будет отрабатываться в период 16,7 — 25 лет при себестоимости 9 руб/т и получит денежную оценку ($6 - 0,012 \cdot 860 - 6 \cdot 9$) 1,643 = 13,01 млн. руб.; в III варианте — в период 16 — 22,5 года с себестоимостью 8 руб/т и получит оценку ($6,7 - 0,012 \cdot 860 - 6,7 \cdot 8$) -1,726 = 26,83 млн. руб.

Наконец, худшая часть месторождения, которая будет отрабатываться в период 22,5 — 30 лет, в III варианте получит отрицательную денежную оценку, равную ($6,7 - 0,005 \cdot 860 - 6,7 \cdot 8$) X X 0,971 = — 24,07 млн. руб. Результаты этих расчетов сведены в табл. 35. Там же приведены аналогичные оценки без дисконтирования.

Таблица 35

Расчет денежной оценки месторождения и его частей

Части месторождения	С дисконтированием			Без дисконтирования		
	I	II	III	I	II	III
100 млн. т с содержанием 2%	353,34	444,23	527,45	720	821,64	924,60
50 млн. т » » 1,2%	—	13,01	26,83	—	65,73	118,32
50 млн. т » » 0,5%	—	—	—24,07	—	—	—185,93
Суммарная оценка	353,34	457,24	530,21	720	887,37	856,99

Из табл. 35 видно, что прирост оценки лучших частей месторождения при включении в баланс запасов худших частей с избытком компенсирует дисконтированные убытки отработки этих худших частей, в результате чего максимальную денежную оценку имеет III вариант, окупающийся 200 млн. т запасов. Без дисконтирования лучшим вариантом остается II, окупающийся 150 млн. т запасов. Следовательно, дисконтирование привело не к ужесточению, а, наоборот, к смягчению

кондиций.

Показанный механизм снижения кондиций и расширения балансовых запасов под влиянием дисконтирования является вполне естественным и хорошо моделирует неформальную логику принятия хозяйственных решений в условиях интенсивного производства. Для того чтобы создать крупное, высокопроизводительное предприятие, быстрее и в большем объеме получить прибыль от использования лучших частей месторождения, можно включать в балансовые запасы некоторые худшие его части, отработка которых в настоящее время нерентабельна, но может оказаться рентабельной через 20 — 30 лет, когда дойдет очередь до извлечения этих бедных запасов. Следует отметить, что при использовании для геолого-экономической оценки перспективных замыкающих затрат этот вопрос решается аналогичным образом, но более обоснованно: бедные части месторождения оцениваются исходя из прогнозируемых, как правило, более высоких нормативов замыкающих затрат и исключаются в баланс, несмотря на то, что их отработка при существующих нормативах нерентабельна.

На реальную динамику показателя денежной оценки в зависимости от запасов месторождения существенное влияние оказывают размеры первоначальных капиталовложений и сроки строительства добывающего предприятия, а также выбор нулевой точки на оси времени, т. е. года приведения.

Можно показать, что один из выводов, полученных в процессе экспериментальных расчетов [16], о том, что дисконтирование определяет неестественную динамику показателя денежной оценки, в результате которой некоторые части месторождения не могут быть включены в балансовые запасы при любой, как угодно высокой цене на продукцию, является следствием именно специфического выбора года приведения (начало строительства) и не вполне обоснованного выбора сроков строительства. Вернемся к примеру, приведенному в табл. 33.

Заметим прежде всего, что во II варианте срок строительства назначен 3 года, а в III — 5 лет. Такое различие в сроках едва ли обоснованно, поскольку затраты на строительство в этих вариантах практически одинаковы. Получается, что более крупное предприятие в III варианте будет строиться с интенсивностью $168:5 = 33,6$ млн. руб. в год, тогда как менее крупное предприятие во II варианте будет строиться с интенсивностью $156:3 = 52$ млн. руб. в год, что, конечно, неправдоподобно.

Рассматривая этот пример, мы установили, что во II варианте $R_p = 229,4$ млн. руб., а в III — $R_p = 226,8$ млн. руб., т. е. переходить к III варианту невыгодно. Осталось, однако, неясным, что именно невыгодно: включать в балансовые запасы худшую часть месторождения или 5 лет строить добывающие предприятия? Оказывается, что невыгодно долго строить. Достаточно сократить срок строительства хотя бы до 4 лет, и денежная оценка месторождения в III варианте составит 250,8 млн. руб., т. е. будет значительно выше, чем во II варианте, и худшая часть месторождения тоже может быть включена в промышленный контур.

Относительно неестественной динамики показателя R_p заметим следующее. Зависимость R_p от цены на продукцию C всегда может быть выражена линейным уравнением вида $R_p = a - bL$, где a и b — постоянные величины, определяемые заданными условиями каждого варианта. Не приводя тривиальных вычислений, исходные данные для которых взяты из табл. 33 и 34, укажем, что такими уравнениями в нашем примере будут: для II варианта:

$$R_p(II) = 0,954C - 591,44; \text{ для III варианта при сроке строительства 5 лет}$$

$$R_p(IIIa) = 0,897C - 544,7; \text{ для III варианта при сроке строительства 4 года}$$

$$R_p(IIIб) = 0,969C - 599,44.$$

Эти функции приведены на рис. 32 (для наглядности рисунок сделан без соблюдения масштаба). На графике хорошо видны причины возникновения неестественной динамики соотношений денежных оценок R_p по разным вариантам. Линии $R_p(II)$ и $R_p(IIIa)$ пересекаются в точке, соответствующей цене на продукцию $C = 820$ руб/т, и при всех значениях $C > 820$ руб/т $R_p(II)$ оказывается выше $R_p(IIIa)$. Следовательно, чем выше будет цена на продукцию, тем явственнее преимущество II варианта. И наоборот, при ценах ниже 820 руб/т предпочтение следует отдать III варианту, включающему бедные руды. Причиной такого абсурда является то, что коэффициент b в уравнении $R_p(II)$ оказался выше, чем в уравнении $R_p(IIIa)$. Аналитическое выражение этого коэффициента следующее:

$$b = \sum_{i=1}^n (A_i M_i \sum_{t_1}^{T_i} 1,08^{-t_1}),$$

(61)

где A_i — годовая производительность по руде; M_i — извлекаемое содержание продукции; i — индекс части месторождения (блока, приращения) с заданным M_i ; n — количество таких частей; t_1 и T_i — годы начала и завершения отработки данной части месторождения.

Анализ формулы (61) показывает, что коэффициент b возрастает при включении в общую сумму каждой новой части месторождения с любым, как угодно малым содержанием M_i , если при этом будут выполнены два условия: во-первых, не будет уменьшаться производительность A_i и, во-вторых, не будет смещаться на более поздние сроки начало отработки месторождения. Первое из этих условий настолько очевидно, что безусловно соблюдается во всех проектных проработках. Для выполнения второго условия достаточно принять в качестве года приведения ($t = 0$) не год начала строительства, а год начала эксплуатации месторождения.

Реальная динамика затрат и получения прибыли в течение всего цикла освоения месторождения достаточно сложна и непредсказуема в деталях. Типичный характер этой динамики показан на рис. 33 сплошной линией. В процессе геолого-экономической оценки месторождения нет ни нужды, ни возможности учитывать все подробности будущей деятельности по его освоению. Поэтому для расчетов принимается упрощенная схема динамики затрат и прибыли, показанная на рис. 33 пунктирной линией.

В этой схеме годом приведения считается год, условно называемый годом начала эксплуатации, в котором числитель формулы (60) — $(z_t - St)$ становится положительным. Все предшествующие годы относятся к периоду строительства и получают отрицательные номера, возрастающие по мере удаления от года приведения.

При такой схеме расчетов полностью исключается возможность возникновения неестественной динамики показателя денежной оценки месторождения. Имеются и дополнительные доводы в пользу такого выбора года приведения. Во-первых, критерий R_p при этом естественным образом разделяется на две части — отрицательную (период строительства) и положительную (период эксплуатации), каждую из которых удобнее анализировать и оптимизировать отдельно от другой. Изменение, например, сроков строительства никак не скажется на величине положительной составляющей критерия R_p . Во-вторых, принципиально важно, что при таком выборе года приведения затраты на строительство не дисконтируются, а возрастают при увеличении срока строительства. Если приводить все затраты и доходы к году начала строительства, то при определенных соотношениях между ними (ежегодные доходы в первые 20 лет эксплуатации меньше 5% от первоначальных капиталовложений) оказывается выгодным затягивать строительство. И хотя такие соотношения затрат и доходов маловероятны, следует исключить даже потенциальную возможность получения абсурдных результатов. При приведении затрат к году начала эксплуатации увеличение сроков строительства в любом случае приведет к снижению денежной оценки месторождения.

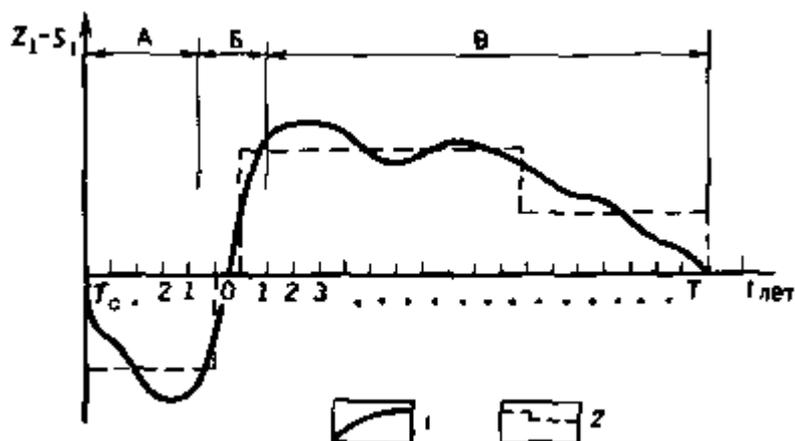


Рис. 33. Динамика затрат и доходов в процессе освоения и эксплуатации месторождения:
 1 — фактическая; 2 — расчетная по периодам (А — строительство, Б — пусковой период, В — эксплуатация)

Подводя итоги обсуждения вопросов, связанных с учетом фактора времени при геолого-экономической оценке месторождений, можно сделать следующие выводы.

1. Метод дисконтирования хорошо моделирует реальные экономические явления и логику принятия хозяйственных решений, ориентированных на отдаленную перспективу. Поэтому применение этого метода при геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых вполне обоснованно.

2. Использование для оконтуривания месторождения рекомендуемого Типовой методикой критерия дисконтированной денежной оценки R_p способствует снижению кондиционных требований и соответственно — увеличению балансовых запасов по сравнению с оконтуриванием месторождения без

дисконтирования.

3. Во избежание грубых ошибок при оценке вариантов отработки месторождений по критерию R_p , следует соблюдать следующие простые правила: усреднять показатели только по однородным с экономической точки зрения частям месторождения; предусматривать первоочередное использование наиболее богатых частей месторождения; все затраты и доходы приводить к году начала эксплуатации месторождения.

ДЕНЕЖНАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Если под денежной оценкой понимать любую характеристику полезного ископаемого, выраженную в деньгах, то многочисленные и разнообразные предложения по этому вопросу можно систематизировать, выделив три основные группы: 1) денежные оценки, отражающие затраты труда на отыскание и изучение месторождений полезных ископаемых; 2) денежные оценки, отражающие экономию труда, которая может быть получена при использовании данного месторождения; 3) денежные оценки, включающие в себя как затраты труда на изучение месторождения, так и полностью или частично экономию от его использования.

Оценки первой группы представляют собой денежное выражение стоимости и поэтому обычно называются ценами на полезные ископаемые в недрах. Такие цены могут быть использованы для организации хозрасчетных отношений между геологической отраслью и государственным бюджетом, а также для отражения затрат на изучение недр в цене продукции добывающих отраслей. Последняя задача практически решается в настоящее время с помощью модификации таких цен — ставок возмещения затрат на геологоразведочные работы, включаемых в себестоимость значительной части продукции добывающих предприятий.

Оценки второй группы представляют собой денежное выражение потребительной стоимости полезных ископаемых, поскольку потребительная стоимость средств производства измеряется именно экономией общественного труда, которая может быть получена при применении этих средств производства. Национальное богатство является суммой потребительных стоимостей, и, следовательно, оценки этой группы измеряют ценность полезных ископаемых как элемента национального богатства и дают возможность сопоставить ее с ценностью не только аналогичных месторождений, но и всех других элементов национального богатства и на этой основе определить народнохозяйственную значимость данного месторождения.

Поэтому денежные оценки этой группы являются важнейшим показателем, используемым при геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых.

Денежные оценки третьей группы, хотя и являются наиболее распространенными в научной литературе, не имеют ясного экономического смысла и едва ли могут быть применены для решения каких-либо практических задач. Подробно этот вопрос рассмотрен в работе [30].

Относительно методики вычисления денежных оценок второй группы следует отметить, что помимо регламентированного Типовой методикой [2] показателя R_p , определяемого по формуле [60], предлагаются и другие формулы для определения денежных оценок, которые хотя и реализуют тот же принцип, но различаются в существенных деталях.

Так, в работах [46, 47, 48] в качестве капитализируемой прибыли фигурирует только дифференциальная рента, тогда как в Типовой методике капитализируется вся разница между доходами и расходами. Ясно, что, учитывая в денежной оценке только дифференциальную ренту, мы не можем использовать этот показатель как критерий оптимальности при геолого-экономической оценке месторождения, так как включение в балансовые запасы всех его частей, дающих прибыль меньше нормативной, будет приводить к снижению этого показателя. В результате кондиции будут установлены, исходя из требования нормативной рентабельности при отработке бортовых частей месторождения, и окажутся неоправданно жесткими. В указанных работах, кроме того, предлагается использовать среднюю величину дифференциальной ренты за весь срок эксплуатации месторождения, что, как было показано выше, неверно с теоретической точки зрения и приводит к ошибкам в практических расчетах. Усреднение прибыли, а также отсутствие в предлагаемых формулах в явном виде затрат средств и времени на строительство добывающего предприятия настолько сокращает информативность показателя денежной оценки, что он становится чисто иллюстративным, непригодным для активного применения при поиске оптимального варианта отработки месторождения.

Вызывают сомнения и предлагаемые в указанных работах методы капитализации ренты. В работе [47] рента дисконтируется дважды: сначала при вычислении среднегодовой ренты, а затем при ее

капитализации по общепринятой формуле суммирования с дисконтированием. Это, конечно, явная ошибка. В работах [46, 48] предлагается капитализировать ренту путем деления на норматив дисконтирования $E_{\text{нп}}$, который трактуется в работе [46] как норматив эффективности капитальных вложений, а в [48] — как процент на долгосрочные вклады. Независимо от смысла, вкладываемого в норматив $E_{\text{нп}}$, такой метод капитализации корректен только для оценки природных ресурсов с неограниченным сроком использования, так как

$$\frac{1}{E_{\text{нп}}} = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1 + E_{\text{нп}})^t}.$$

Однако срок отработки месторождений полезных ископаемых ограничен. Поэтому предлагаемый метод капитализации даст завышенную денежную оценку месторождений. Величина погрешности зависит от срока эксплуатации T и величины $E_{\text{нп}}$. Например, при $T = 30$ лет и $E_{\text{нп}} = 0,08$ оценка будет завышена на 11%, а при $E_{\text{нп}} = 0,03$ — на 70%. Главное же заключается не в этих погрешностях, а в том, что срок отработки месторождения — один из управляемых параметров при оптимизации системы отработки месторождения. Пренебрегая им при определении денежной оценки, мы еще более снижаем информативность этого показателя.

Таким образом, в результате сопоставления существующих предложений по методике расчета показателя денежной оценки месторождения представляется очевидным, что формула (60), регламентированная Типовой методикой, наиболее правильно отражает реальные экономические явления, характеризующие процесс освоения и отработки месторождений полезных ископаемых, и содержит наибольшее количество информации, необходимой для правильного решения задач геолого-экономической оценки.

Ежегодные затраты S_t в формуле (60) определены как сумма капитальных и эксплуатационных (без отчислений на амортизацию в части реновации) затрат. Такая трактовка отражает народнохозяйственный подход к геолого-экономической оценке. Действительно, отчисления на реновацию представляются расходами только на предприятии, у которого эти отчисления изымаются при их централизации. Для народного хозяйства эти отчисления — доход, служащий источником обновления основных производственных фондов. В условиях самофинансирования экономическая суть отчислений на реновацию проявляется уже и на уровне предприятия. Аналогичным образом различие между текущими издержками и капиталовложениями существенно только для предприятия, а для народного хозяйства и то, и другое — затраты. Поэтому регламентированное Типовой методикой содержание показателя затрат S_t с теоретических позиций представляется верным.

Однако его практическое определение связано с трудностями: необходимо знать величину капиталовложений в течение всего срока эксплуатации месторождения. На стадии геолого-экономической оценки, когда еще нет проекта, такие данные практически отсутствуют. Представляется, что более правильным было бы исходить из того, что текущие капиталовложения в процессе отработки месторождения по величине и времени совпадают с отчислениями на реновацию. Конечно, принимая такое условие, мы допускаем неточность, но ее размеры будут, по-видимому, не больше тех погрешностей, которые можно допустить, фантазируя по поводу динамики основных фондов на весь срок отработки месторождения. С учетом всего сказанного формулу для вычисления денежной оценки R_p можно записать в следующем виде:

$$R_p = \sum_{t=1}^T \frac{z_t - C_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t} - \frac{K}{T_{\text{стр}}} \sum_{t=1}^{T_{\text{стр}}} (1 + E_{\text{нп}})^t, \quad (62)$$

где C — эксплуатационные затраты (включая отчисления на реновацию) в t -м году; T — срок отработки запасов, считая от года начала эксплуатации; $T_{\text{стр}}$ — срок строительства предприятия; K — первоначальные капиталовложения.

Глава 4.

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Как уже было отмечено, геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных

вод базируется на принципах и методических положениях, общих для всех видов полезных ископаемых. В то же время имеется ряд особенностей, отличающих промышленные воды от других видов полезных ископаемых, которые определяют специфику методических приемов, используемых для геолого-экономической оценки месторождений этих вод.

Эксплуатационные запасы подземных вод измеряются не единицами массы или объема, а дебитом водозабора, гарантированным на определенный срок. В основе подсчета запасов подземных вод лежат не геометрические построения, а гидродинамический прогноз изменений во времени условий эксплуатации. Поэтому к запасам подземных вод неприменимы такие обычные для твердых полезных ископаемых понятия, как оконтуривание, прирезка, блок и т. п. Наконец, запасы подземных вод часто могут быть увеличены с помощью технических мероприятий — поддержания пластового давления, применения насосного оборудования, имеющего большую высоту подъема воды, и т. п.

В некоторых отношениях геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод, с одной стороны, проще, чем оценка, например, рудных месторождений. При утверждении запасов промышленных вод автоматически фиксируются производственная мощность (по воде) перерабатывающего предприятия и срок отработки месторождения. Не возникает также проблем выбора систем отработки, очередности ввода в эксплуатацию различных частей месторождения, обоснования величины технологически неизбежных потерь при добыче. Таким образом, существенно сокращается количество управляемых параметров, и оптимальная оценка месторождения может быть получена на основе анализа значительно меньшего количества вариантов его отработки, чем это необходимо при оценке рудных месторождений. Как правило, таких вариантов оказывается 2 — 3. С другой стороны, при оценке месторождений промышленных вод возникает ряд дополнительных вопросов. Важнейшим из них является вопрос о ликвидации сточных вод. При современных требованиях к охране окружающей среды избавиться от сточных вод без крупных затрат практически невозможно. Наиболее универсальным способом решения этой задачи является подземное захоронение сточных вод, однако по затратам оно вполне сопоставимо с добычей промышленных вод. Поэтому полигон для захоронения сточных вод должен быть не только разведан, но и оптимизирован в процессе геолого-экономической оценки месторождения не менее тщательно, чем сам промысел.

При использовании в качестве минерального сырья подземных вод невозможны ни селективная их добыча, ни организация отвалов и хвостохранилищ, позволяющих осуществить комплексную переработку руды в будущем. Не извлеченные из промышленных вод компоненты теряются безвозвратно. Поэтому задача комплексного использования этих вод должна решаться при геолого-экономической оценке месторождения весьма обоснованно.

Первые публикации, посвященные методическим вопросам геолого-экономической оценки подземных вод, появились сравнительно недавно — в начале 70-х годов [20, 41]. Исследования в этом направлении развивались главным образом во ВСЕГИНГЕО. В 1984 г. в этом институте были составлены Методические указания по геолого-экономической оценке месторождений подземных промышленных вод, регламентирующие методику такой оценки на стадиях предварительной и детальной разведок, а также Методические указания по изучению, региональной оценке и составлению карт прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод, в которых изложены основные моменты экономического анализа, необходимого на стадии региональной оценки запасов.

Исследования в этом направлении продолжаются. Наиболее актуальным вопросом в настоящее время является определение технико-экономических показателей технологических процессов по переработке подземных вод. Если по добыче и транспортировке подземных вод, захоронению стоков, извлечению традиционных видов продукции (йод, бром) имеется достаточное количество фактических данных, позволяющих прогнозировать технико-экономические показатели будущей эксплуатации даже на самых ранних стадиях разведочных работ, то по технологии извлечения микрокомпонентов, комплексной переработке подземных вод таких данных нет. Это обстоятельство сдерживает разработку браковочных кондиций, которые могли бы в значительной мере облегчить геолого-экономическую оценку подземных промышленных вод на региональной и поисковой стадиях, повысить ее достоверность.

Основные положения методики геолого-экономической оценки месторождений промышленных подземных вод применимы для оценки попутных подземных вод, добываемых в процессе разработки месторождений других полезных ископаемых, месторождений поверхностных рассолов (рапы), используемых в качестве гидроминерального сырья, а также для оценки месторождений термальных вод. В последнем случае в качестве товарной продукции рассматривается тепловая энергия.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Прогноз технико-экономических показателей будущей эксплуатации месторождения является наиболее трудоемким и очень важным элементом геолого-экономической оценки. На основе этих показателей решаются и остальные задачи оценки: выбор оптимального варианта освоения месторождения, обоснование кондиционных требований к промышленным водам, денежная оценка месторождения.

Технико-экономические показатели, используемые при геолого-экономической оценке месторождений подземных промышленных вод, приведены ниже.

Производительность промысла, тыс. м³/сут Q
Расчетный срок эксплуатации, лет T
Среднее содержание полезных компонентов, г/л M,
Запасы полезных компонентов, тыс. т Z,
Извлечение полезных компонентов, доли ед. И,
Цена единицы продукции, руб/т Ц, Годовой выпуск продукции:
, в натуральном выражении, тыс. т A,
в денежном выражении всего, тыс. руб z
в том числе по видам продукции ^zi
Капиталовложения в промышленное строительство всего, тыс. руб. K
в том числе:
добыча подземных вод (промысел) K_д
транспортировка (магистр, водоводы) K_т
перерабатывающее предприятие K_п
ликвидация промстоков K_л
Сопряженные капиталовложения K_с
Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб. С
в том числе:
по добыче подземных вод (промысел) С_д
по транспортировке (магистр, водоводы) С_т
по перерабатывающему предприятию С_п
по ликвидации промстоков С_л
по возмещению затрат на геологоразведочные работы С_{гр}
Себестоимость единицы товарной продукции, руб/т. С Прибыль, млн. руб.
годовая П_г
за весь срок эксплуатации П
Срок окупаемости капиталовложений, лет Т
Уровень рентабельности к производственным фондам, % Р

Примечание. Показатели, относимые к отдельному виду продукции, сопровождаются индексом «г».

Производительность промысла, расчетный срок эксплуатации, содержание полезных компонентов, их запасы и коэффициенты извлечения являются при геолого-экономической оценке исходными показателями. Они определяются в результате проведения геологоразведочных работ и технологических исследований.

Вопросы измерения ценности получаемой продукции подробно обсуждены в гл. 3. Как уже отмечалось, правильная геолого-экономическая оценка месторождения может быть дана только при условии измерения ценности получаемой продукции в замыкающих затратах и с учетом прогноза их изменения в будущем. Однако в связи с отсутствием нормативов текущих и перспективных замыкающих затрат на продукцию, получаемую из промышленных вод, измерять ее ценность приходится в оптовых ценах. Это соответствует указаниям Госкомцен СССР, хотя и не отвечает требованиям рационального использования недр.

В тех случаях, когда сбыт продукции по оптовой цене не обеспечен, допускается установление на

нее согласованной с потребителем цены на уровне ниже оптовой. В то же время ясно, что такая цена должна быть выше себестоимости получения этой продукции, иначе производить ее нет смысла.

Если технология переработки промышленной воды предусматривает извлечение какого-либо полезного компонента в виде полуфабриката, то цена получаемого из него товарного продукта должна быть уменьшена на величину стоимости переработки этого полуфабриката в продукцию, отвечающую требованиям соответствующих государственных или отраслевых стандартов или технических условий, регламентирующих качество продукции. Годовой выпуск продукции рассчитывается по формулам:

$$A_i = 0,365 Q_i M_i; \quad z_i = C_i A_i; \quad z = \sum_{i=1}^n z_i.$$

Капиталовложения в промышленное строительство включают в себя затраты на создание промысла для добычи подземных вод K_d , строительство магистральных водоводов от промысла до завода и от завода до полигона для ликвидации промстоков K_r , строительство завода по извлечению полезных компонентов из промышленных вод K_n и создание системы ликвидации промстоков K_l :

$$K = K_d + K_r + K_n + K_l.$$

Капиталовложения в создание промысла состоят из затрат на бурение и оборудование скважин, водоподъемное оборудование (погружные или штанговые насосы, компрессоры, эрлифты), водосборные трубопроводы, коммуникации (электролинии, дороги, линии связи), средства автоматики. В расчет принимается максимальное количество одновременно работающих скважин с учетом резервных и наблюдательных скважин. Капиталовложения в строительство магистральных водоводов включают затраты на строительство самих трубопроводов от промысла до завода и от завода до полигона для ликвидации стоков, насосных станций с оборудованием и необходимых коммуникаций (электролинии с подстанциями, дороги, линии связи). Капиталовложения в создание завода по извлечению полезных компонентов из подземных вод включают затраты на сооружения по первичной подготовке и подогреву воды, технологические установки и трубопроводы, здания производственных цехов, подсобные и административно-хозяйственные здания, сооружения электроснабжения, водоснабжения и канализации. В составе капиталовложений в создание завода K_n выделяются отдельно затраты на сооружения и оборудование, предназначенные для извлечения каждого полезного компонента K_n . Капиталовложения в систему ликвидации промстоков включают затраты на строительство и оборудование отстойников, станций нейтрализации и очистки стоков, фильтрационных бассейнов, поглощающих скважин, насосных станций и разводящих сетей, необходимых коммуникаций (дороги, электролинии с подстанциями, линии связи).

В составе капиталовложений во всех элементах производственного комплекса учитываются также затраты на: компенсацию за изъятие сельскохозяйственных и лесных угодий и рекультивацию временно используемых земельных участков; вырубку леса, расчистку, планировку и благоустройство территории промышленного строительства; строительство временных зданий и сооружений, проектно-изыскательские работы, непредвиденные работы, авторский надзор и прочие внеобъемные затраты, регламентируемые инструкциями Госстроя СССР в размерах определенных процентов от основных капиталовложений.

Для сравнения вариантов, содержащих разновременные капиталовложения, и для суммирования разновременных капиталовложений они приводятся к сопоставимому виду дисконтированием отсроченных вложений по формуле

$$K_1^1 = K_1 (1 + E_{\text{нп}})^{-1},$$

где K_1^1 — приведенные капиталовложения; K_1 — реальные капиталовложения в t -м году от начала эксплуатации; $E_{\text{нп}}$ — норматив дисконтирования, принимаемый равным 0,08.

Сопряженные капиталовложения включают затраты на создание и развитие социальной и промышленной инфраструктуры, необходимой для нормальной работы проектируемого предприятия по добыче и переработке подземных вод. Сюда относится строительство жилья, культурно-бытовых и лечебных учреждений, а также доленое участие в строительстве или расширении энергетических, транспортных, водохозяйственных объектов общего пользования.

Затраты на жилищное строительство определяются исходя из дополнительной численности работников, удельного веса градообразующей группы населения, нормативов обеспечения жилой площадью и стоимости 1 м² жилья. Затраты на строительство культурно-бытовых и лечебных учреждений определяются на основании действующих нормативов (СНиП П-60 — 75, ч. II) и типовой стоимости планируемых объектов. Сопряженные капиталовложения не образуют основных фондов предприятия по добыче и переработке подземных вод и не учитываются при расчетах се-

бестоимости продукции, рентабельности и сроков окупаемости капиталовложений.

Годовые эксплуатационные затраты C складываются из текущих расходов на добычу C_d , транспортировку C_t , переработку C_p подземных вод, ликвидацию промстоков C_l и возмещение затрат на геологоразведочные работы $C_{гр}$:

$$C = C_d + C_t + C_p + C_l + C_{гр}$$

Состав затрат и методы их калькулирования определяются Основными положениями по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на промышленных предприятиях, утвержденными Госпланом СССР, Госкомцен СССР, ЦСУ СССР и Минфином СССР, и действующими отраслевыми инструкциями, разработанными на основе этих положений.

Во всех элементах производственного процесса калькуляцией эксплуатационных затрат учитываются расходы на: зарплату основного производственного персонала; энергозатраты (электроэнергия, тепло, пар и т. д.); материалы; содержание и эксплуатацию оборудования; цеховые расходы; общезаводские расходы; внепро-изводственные расходы.

Зарплата производственного персонала определяется исходя из нормативной численности и средней заработной платы с учетом районных коэффициентов и отчислений на социальное страхование.

Затраты на электроэнергию определяются на основании прейскуранта 09 — 01 по двухставочному тарифу: за потребляемую активную энергию (кВт-ч) и максимальную мощность одновременно работающих потребителей (кВА). Для ориентировочных расчетов можно принимать, что затраты активной энергии на подъем 1 м^3 на 1 м составляют $0,005 \text{ кВт-ч}$. Горизонтальное перемещение воды на расстояние 1 км по затратам энергии приравнивается к ее подъему на 5 м . На закачку 1 м^3 промстоков при их подземном захоронении расходуется примерно $0,5 \text{ кВт-ч}$ на 1 МПа избыточного давления на устье поглощающей скважины. Зная потребляемую активную энергию, можно оценить ориентировочно максимальную установленную мощность, разделив годовой расход энергии в кВт-ч на $55004\text{-}6000 \text{ ч}$. Затраты всех видов энергии (электроэнергия, пар, природный газ, сжатый воздух и т. п.), а также расход материалов (химических реагентов) на водоподготовку, извлечение полезных компонентов и очистку стоков рассчитываются по расходным коэффициентам, получаемым в результате технологических исследований. Стоимость химических реагентов определяется по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом транспортно-заготовительных расходов.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования включают расходы на реновацию, капитальный и текущий ремонты оборудования и основных технологических сооружений (скважин, трубопроводов и т. п.). Эти расходы нормируются в процентах от стоимости оборудования и сооружений. Затраты на реновацию и капитальный ремонт принимаются в соответствии с нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства. При особо агрессивных свойствах сырьевой воды эти нормы могут быть скорректированы в сторону увеличения амортизационных отчислений с учетом реальных сроков службы скважин, насосов, трубопроводов и другого оборудования. Затраты на текущий ремонт принимаются в соответствии с отраслевыми нормативами химической и нефтедобывающей промышленности. Отчисления на реновацию выделяются отдельной строкой.

Цеховые расходы включают в себя заработную плату цехового персонала с отчислениями на социальное страхование, расходы по охране труда (планируются в процентах от основной заработной платы), расходы на амортизацию, содержание и текущий ремонт зданий и сооружений (в процентах от их стоимости) и прочие затраты (в процентах от перечисленных цеховых расходов).

Общезаводские расходы планируются в процентах от стоимости переработки сырья, внепроизводственные расходы — в процентах от заводской себестоимости.

Калькуляция себестоимости продукции делается в два этапа. На первом этапе калькулируются годовые эксплуатационные расходы по элементам производства и определяются цеховая себестоимость единицы сырьевой воды (обычно на 1000 м^3 франко-приемные емкости перерабатывающего завода) и себестоимость ликвидации (захоронения, очистки) единицы сточных вод. Пример такой калькуляции приведен в табл. 36. Аналогичным образом рассчитывается себестоимость продукции вспомогательных цехов, обеспечивающих основное производство теплом, паром, некоторыми химреагентами.

На втором этапе составляется калькуляция себестоимости всех видов конечной продукции основного производства. При этом затраты на сырьевую воду, ликвидацию сточных вод, услуги и продукцию вспомогательных цехов учитываются в соответствии с их цеховой себестоимостью и удельным расходом на единицу конечной продукции. Пример такой калькуляции приведен в табл. 37.

Таблица 36.**Калькуляция годовых эксплуатационных затрат на добычу и транспортировку сырьевой воды**

Статьи затрат	Единица измерения	Затраты
Электроэнергия	тыс. кВт-ч	15,33
по цене 21,7 руб. за 1000 кВт-ч	тыс. руб.	332,70
Заработная плата основная и дополнительная	тыс. руб.	91,2
Отчисления на соцстрах	тыс. руб.	21,2
Содержание и эксплуатация оборудования	тыс. руб.	1877,2
в том числе амортизация	тыс. руб.	1790,9
Цеховые расходы	тыс. руб.	84,7
Итого цеховая себестоимость	тыс. руб.	2407,0
Объем переданной на завод воды	тыс. м ³ /год	14904,0
Себестоимость	руб. за 1000 м ³	161,5

Если предусматривается выпуск одного вида продукции, то его себестоимость C_i определяется соотношением $C_i = C:A_i$.

При двух и более видах продукции возникает проблема распределения общих для всего производства затрат между конкретными видами продукции. К таким общим затратам относятся затраты на сырьевую воду, ликвидацию сточных вод, цеховые расходы перерабатывающего предприятия, общезаводские и внепроизводственные расходы. В сумме они составляют 60 — 70% себестоимости продукции. Общепринятый способ отнесения общих расходов заключается в распределении их между отдельными видами продукции пропорционально ценности, т. е. годовому выпуску продукции в денежном выражении. Однако этот способ при его формальном применении может привести к ошибочным выводам. Рассмотрим это на простом примере.

Предположим, что намечается выпуск трех видов продукции А, Б и В на общую сумму 1000 руб. при суммарной себестоимости 900 руб., т. е. производство в целом рентабельно (табл. 38). Тем не менее при распределении 600 руб. общих затрат пропорционально ценности выпускаемой продукции выясняется, что производство продукции В убыточно и ее следует исключить из намечаемого перечня выпускаемой продукции. На втором шаге полагаем, что общие затраты сократились до 560 руб., но распределение этой суммы между оставшимися видами продукции А и Б пропорционально их ценности приводит к убыточности продукции Б, которую вследствие этого следует исключить из планируемого производства. На третьем шаге легко убедиться, что и производство одной продукции А убыточно, несмотря на то, что общие расходы сократились до 480 руб. Конечно, в этом примере цифры подобраны специально, и его решение было преднамеренно формальным. Однако способ, который может привести к абсурдным результатам, нельзя признать удовлетворительным.

Таблица 37**Калькуляция себестоимости йода**

Статьи затрат	Затраты на 1 т йода		
	Количество, т	Цена, руб.	Сумма, руб.
Сырье и материалы			
Вода промышленная	29,49	161,50	4762,07
Кислота серная	10,63	65,49	696,15
Хлор жидкий	1,0	220,60	220,60
Сера комовая	0,477	110,08	52,50
Сода каустическая	0,25	234,51	58,62
Вспомогательные материалы	—	—	54,17
Итого			5844,11
Энергозатраты			
Электроэнергия	39,30	21,70	852,81
Пар	36,2	8,0	289,60
Итого			1136,41
Зарплата основная и дополнительная и отчис-			

ления на соцстрах	—	—	252,84
Содержание и эксплуатация оборудования в том числе амортизация	—	—	566,58
Нейтрализация отработанных вод	—	—	532,00
Возмещение затрат на ГРП	—	—	1146,90
Цеховые расходы	I	—	2130,00
Общезаводские расходы	—	—	699,54 545,70
Внепроизводственные расходы	—	—	114,42
Себестоимость 1 т йода			12183,66

Примечание. Количество промышленной воды дано в тыс. м³; электроэнергии - в тыс. кВт-ч; пара в Г кал.

Представляется более правильным распределять общие расходы таким образом, чтобы обеспечивалась равная рентабельность (по себестоимости) для всех видов выпускаемой продукции, как показано в табл. 38. Только если общий уровень рентабельности всего производства является неприемлемым, то следует рассматривать вопрос об исключении того или иного вида продукции из намеченной номенклатуры, учитывая при этом не только возможность повышения рентабельности производства, но и дефицитность различной продукции.

При любых способах распределения общих расходов должно соблюдаться равенство

$$C = \sum_{i=1}^n C_i A_i,$$

где n — количество видов выпускаемой продукции.

Годовая прибыль Π_r определяется как разность между годовым выпуском продукции в денежном выражении z и годовыми эксплуатационными затратами C : $\Pi_r = z - C$.

По мере отработки балансовых запасов условия эксплуатации ухудшаются: снижаются динамический уровень и дебит промысловых скважин, повышается давление закачки, снижается приемистость нагнетательных скважин. В результате растут затраты на добычу воды и захоронение промышленных стоков, повышается себестоимость конечной продукции, а прибыль соответственно снижается. Указанная тенденция хорошо иллюстрируется приведенными в табл. 39 данными о динамике стоимости добычи подземных вод на некоторых предприятиях йодобромной промышленности.

Таблица 38

Распределение общих затрат (руб.) между отдельными видами продукции

Вид продукции	Ценность продукции	Прямые затраты	Общие затраты	Себестоимость	Прибыль +, убытки —
Пропорционально ценности продукции					
<i>Первый шаг</i>					
A	500	110	300	410	+ 90
Б	300	100	180	280	+ 20
В	200	90	120	210	- 10
Итого	1000	300	600	900	+ 100
<i>Второй шаг</i>					
A	500	110	350	460	+ 40
Б	300	100	210	310	— 10
Итого	800	210	560	770	+ 30
<i>Третий шаг</i>					
A	500	110	480	590	-90
По принципу равной рентабельности					
A	500	ПО	340	450	+ 50
Б	300	100	170	270	+30
В	200	90	90	180	+ 20

Итого	1000	300	600	900	+ 100
-------	------	-----	-----	-----	-------

Таблица 39

Изменение стоимости сырьевой воды за период 1980 — 1985 гг.

Завод	Стоимость 1000 м ³ воды, руб.					
	1980 г.	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.	1985 г.
Йодный:						
1	285,9	282,0	327,0	332,7	354,3	392,0
2	135,6	157,6	157,8	182,1	182,7	236,7
Йодобромный	408,6	421,3	456,0	503,2		—

Для реальной оценки сроков окупаемости капиталовложений и рентабельности планируемого производства необходимо знать динамику годовой прибыли в течение расчетного срока эксплуатации месторождения. Для этого прибыль определяется применительно к условиям 1,5, 10, 15-го и последнего года эксплуатации, а также на планируемые моменты изменения технологии (например, при переходе от эрлифтов к погружным насосам). Для всех промежуточных лет размер годовой прибыли определяется линейной интерполяцией. Прибыль по периодам эксплуатации месторождения приведена в табл. 40

Срок окупаемости капиталовложений в промышленное строительство является одним из важнейших технико-экономических показателей, поскольку он служит критерием эффективности капиталовложений и в качестве такового определяет очередность вовлечения разведанных участков в хозяйственное освоение.

Реальный срок окупаемости капиталовложений $T_{ок}$ определяется как число первых лет эксплуатации месторождения (участка), в течение которых сумма полученной прибыли сравняется с суммой капиталовложений в промышленное строительство:

$$K = \sum_{t=1}^{T_{ок}} P_t.$$

Перечень определяемых при геолого-экономической оценке месторождений технико-экономических показателей одинаков для всех стадий поисково-разведочных работ, но обоснования и достоверность показателей, естественно, различны. На стадии поисков технико-экономические показатели определяются весьма укрупненно и главным образом на основании аналогий с действующими или запроектированными предприятиями. Выбор аналогов должен быть обоснован сходством основных природных условий, определяющих объемы капиталовложений и себестоимость продукции. Целесообразно подобрать аналоги отдельно для каждого из элементов производства: добычи, транспортировки, переработки воды, ликвидации промстоков. Некоторые различия между условиями оцениваемого месторождения (участка) и предприятия-аналога могут быть учтены расчетным путем. Так, влияние объемов производства Q на величину капиталовложений K и себестоимость единицы продук-

ции C при прочих равных условиях может быть определено из соотношений

$$K_2:K_1 = (Q_2:Q_1)^b; C_1:C_2 = (Q_2:Q_1)^b \text{ при } Q_2 > Q_1.$$

Показатели степени равны: $|b| = 0,65-0,75$; $|b| = 0,1-0,2$. Расчетным путем могут быть скорректированы также различия в стоимости строительства и бурения скважин, тарифах на электроэнергию, районных коэффициентах к зарплате и т. п. На стадии предварительной разведки уже имеются технологические регламенты, и в общих чертах выясняется схема будущего предприятия по добыче и переработке подземных вод. Это дает возможность более тщательного обоснования технико-экономических показателей с использованием типовых проектов, укрупненных нормативов и прямых расчетов.

При обосновании постоянных кондиций по результатам детальной разведки технико-экономические показатели определяются расчетным путем с соблюдением всех требований и норм проектирования промышленных предприятий. Наиболее достоверными являются результаты геолого-экономической оценки по данным эксплуатационной разведки, так как они опираются на реальные технико-экономические показатели действующего предприятия.

Собственная нормативная база промышленности по добыче и переработке подземных вод практически отсутствует. Число действующих предприятий и проектных проработок, которые могли

бы служить аналогами, также весьма ограниченно. Поэтому для определения технико-экономических показателей будущей эксплуатации месторождений подземных промышленных вод используются нормативные материалы по предприятиям-аналогам разных отраслей. Так, при строительстве, обустройстве и эксплуатации промыслов, магистральных трубопроводов и полигонов захоронения применяются нормативы нефтяной промышленности; для перерабатывающих предприятий — химической промышленности; для объектов энергетического хозяйства — Минэнерго СССР и т. д.

Таблица 40

Расчет суммарной прибыли (в тыс. руб.) по периодам эксплуатации месторождения

Год эксплуатации	I			II			III			
	Годовая прибыль	Средняя прибыль за период	Общая прибыль за период	Годовая прибыль	Средняя прибыль за период	Общая прибыль за период	Годовая прибыль	Средняя прибыль за период	Общая прибыль за период	
1	2816			3943			4237			
5	1690	2253	11 265	2735	3339	16695	2914	3575	17875	
10	986	1338	6690	1980	2358	11 790	2088	2501	12505	
15	422	704	3520	1376	1678	8390	1426	1757	8785	
28	270	346	4290	924	1150	14260	930	1178	14 607	
Суммарная прибыль			25765				51 135			
Срок окупаемости капиталовложений, лет			9				8			

ОЦЕНКА ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД КАК КОМПЛЕКСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Проблема комплексного использования минерального сырья чрезвычайно актуальна. Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых и применение известных технологий в двенадцатой пятилетке может дать экономию 12 — 15 млрд. руб. Не менее важны и социальные аспекты этой проблемы: сохранение для потомков исчерпаемых богатств земных недр, снижение техногенной нагрузки на природную среду, развитие территориально-промышленных комплексов и т. п.

Требование комплексного использования месторождений полезных ископаемых зафиксировано и в Основах законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах, принятых Верховным Советом СССР 9/VII 1975 г., и во всех последующих правовых, инструктивных и методических документах, регламентирующих разведку и эксплуатацию недр. Несмотря на все это, реальное положение вещей остается неудовлетворительным. Основной причиной такого неблагоприятия является ведомственная разобщенность добывающей промышленности и несогласованность отраслевых и народнохозяйственных интересов.

Методика геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых с учетом их комплексного использования сложилась в значительной мере под влиянием существующей практики. Это отражается в первую очередь в общепринятом подразделении извлекаемых компонентов на основные и попутные. С точки зрения народного хозяйства такое деление смысла не имеет: вся продукция, которая нужна и которую можно с выгодой извлечь из минерального сырья, в равной мере является основной.

В соответствии с классификацией ГКЗ СССР [44] полезные компоненты, содержащиеся в подземных промышленных водах, относятся к III группе — примесям. Характерной особенностью полезных ископаемых этой группы является то, что попутные компоненты извлекаются из недр вместе с основными независимо от того, будут ли они в дальнейшем утилизированы в виде товарной продукции или окажутся в отходах производства. Поэтому запасы попутных компонентов этой группы оцениваются в контуре балансовых запасов основного полезного ископаемого.

Специфическая особенность подземных промышленных вод заключается в том, что в качестве

основного компонента в них выступает вода, хотя она сама по себе и не переводится в товарную продукцию. Действительно, запасы утверждаются именно по воде, а все растворенные в ней вещества являются, по сути дела, примесями к ней.

В табл. 41 приведена структура товарной продукции, которая может быть получена из промышленных вод некоторых месторождений, по которым имеются предварительные ТЭО их комплексного использования. Подобная структура типична и для других месторождений.

Из табл. 41 видно, что значительная часть общей стоимости приходится на макрокомпоненты (поваренная соль, мел), потребность в которых может быть удовлетворена и без подземных промышленных вод. Ни один из видов продукции не составляет более 40% ее общей стоимости. Более того, из тех же ТЭО следует, что добыча и переработка подземных вод для получения какого-либо одного вида продукции являются нерентабельными. Поэтому делить на основную и попутную продукцию, получаемую из промышленных вод, и с теоретической, и с практической точки зрения представляется нецелесообразным.

Таким образом, обоснование комплексного использования месторождений подземных промышленных вод при их геолого-экономической оценке сводится к составлению перечня извлекаемой продукции. В этот перечень включаются все виды продукции, относительно которых выполняются следующие условия: имеется потребность в данном виде продукции; имеется технологическая схема переработки промышленной воды, предусматривающая получение этой продукции; концентрация полезного компонента достаточна для получения данного вида продукции с приемлемыми экономическими показателями.

Таблица 41
Структура товарной продукции комплексной переработки подземных промышленных вод

Виды продукции	Доля видов продукции (%) по трем месторождениям		
	1	2	3
Йод технический	11,6		3,8
Бром технический			16,8
Железо бромистое	18,0		
Натрий хлористый	39,3		13,4
Карналлит обогащенный			5,5
Литий углекислый	4,0	20,6	8,5
Стронций углекислый	12,5	12,3	
Стронций азотнокислый			36,0
Кальций углекислый (мел)	—	38,0	
Магний углекислый	—	13,5	
Перборат натрия	14,6		
Борная кислота			16,0
Соляная кислота	—	15,6	
Итого	100	100	100

Оценка потребности народного хозяйства в той или иной продукции во многих случаях представляет собой достаточно сложную задачу, требующую для своего решения творческого, неформального подхода. На практике такое решение принимается обычно на основе рассмотрения перспективных балансов производства и потребления, которые регулярно составляются практически по всем видам продукции. Этого, однако, недостаточно. Надо четко представлять условность таких балансов. Между производством и потреблением продукции имеется обратная связь, причем в условиях плановой экономики наибольшую эластичность проявляет именно потребление: на дефицитные виды сырья заявки просто не принимаются или урезаются волевым решением планирующих органов. Особенно малоинформативны такие балансы по новым видам продукции, не используемой в существующих технологиях. Поэтому анализ потребности в той или иной продукции, получаемой из подземных вод, не должен ограничиваться рассмотрением перспективных балансов ее производства и потребления. Необходимо изучить все возможные области эффективного применения этой продукции, в том числе в новых, прогрессивных технологиях и производствах. При этом следует учесть и зарубежный опыт использования аналогичной продукции, и возможности расширения экспорта или сокращения импорта, и тенденции изменения цен на эту продукцию на мировом рынке.

Большую роль при определении перечня извлекаемой продукции могут сыграть технологические

исследования. Из одних и тех же элементов, содержащихся в промышленных водах, в процессе их переработки могут быть получены различные химические соединения, как нужные, так и ненужные народному хозяйству. В первую очередь это относится к макрокомпонентам, составляющим основную массу извлекаемого из промышленных вод вещества. Так, например, содержащийся в воде кальций в большинстве технологических схем утилизируется в виде, химически осажденного мела (CaCO_3), имеющего весьма ограниченный сбыт. Во ВСЕГИНГЕО разработана технология, позволяющая извлекать их хлоридно-натриевых рассолов кальций и часть содержащегося хлора в виде гипохлорида кальция ($\text{CaClO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), потребность в котором в настоящее время не удовлетворяется. Поэтому технологические исследования должны быть изначально сориентированы не просто на извлечение максимального количества вещества, но именно на получение наиболее ценных, дефицитных видов продукции.

При экономическом обосновании включения в перечень той или иной продукции следует оценивать не целесообразность извлечения соответствующего полезного компонента, а целесообразность отказа от его извлечения. Разница между этими двумя подходами заключается в следующем.

В первом случае мы рассматриваем данный компонент как равноправный вид продукции и должны относить на его себестоимость определенную часть общих затрат по добыче и транспортировке сырьевой воды, ликвидации стоков и т. п. Если в результате этого себестоимость данной продукции окажется выше ее цены, то мы будем вынуждены отказаться от производства этой продукции и один из полезных компонентов окажется в отходах производства. Общие затраты при этом не сократятся, а будут соответственно распределены на себестоимость других видов продукции. Однако после такого решения возникает новый вопрос: стоит ли выбрасывать этот компонент? Поскольку отходы производства можно рассматривать как бесплатное сырье, для ответа на этот вопрос ценность получаемой продукции надо сравнить только с дополнительными затратами, возникающими на перерабатывающем предприятии в связи с получением этой продукции. При этом вполне возможно, что дополнительные затраты окажутся меньше ценности получаемой продукции и ее с полным основанием придется вновь включить в первоначальный перечень. Поэтому представляется правильным при экономическом обосновании перечня извлекаемых компонентов сравнивать ценность каждого вида получаемой продукции только с затратами, непосредственно связанными с получением данного вида продукции, без учета затрат на сырьевую воду и ликвидацию стоков.

С учетом сказанного минимальное промышленное содержание компонента i может быть выведено из условия нулевого приращения показателя денежной оценки месторождения $D_i R_p$ в связи с извлечением этого компонента

$$V R_p = \sum_{i=1}^r \frac{0,365 \cdot Q \cdot M_i \cdot H_i \cdot \alpha \cdot \Pi - \Delta C_i}{(1 + E_{\text{ни}})^t} - \frac{\Delta K_i}{T_{\text{стр}}} \sum_{i=1}^{T_{\text{стр}}} (1 + E_{\text{ни}})^t = 0, \quad (63)$$

где ΔK_i и ΔC_i — соответственно капиталовложения и годовые текущие затраты, непосредственно связанные с утилизацией i -го компонента, руб.; $T_{\text{стр}}$ — срок строительства перерабатывающего предприятия, лет; α — коэффициент, учитывающий содержание i -го компонента в конечной продукции (например, конечной продукцией является хлористый литий с молекулярной массой 43, атомная масса лития — 7, $\alpha = 43:7 = 6,15$).

Поскольку в формуле (63) нет затрат на сырьевую воду и ликвидацию стоков, будем считать, что экономические показатели остаются неизменными в течение всего срока отработки месторождения T , а капиталовложения в процессе эксплуатации по величине и срокам равны отчислениям на реновацию, включенным в текущие издержки, ΔC_i . Наконец, для упрощения записи обозначим показатели суммирования с дисконтированием: для периода строительства

$$\gamma_1 = \sum_{t=1}^{T_{\text{стр}}} (1 + E_{\text{ни}})^t \quad \text{и для периода эксплуатации} \quad \gamma_2 = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1 + E_{\text{ни}})^t}$$

Тогда минимальное промышленное содержание компонента i получит следующее выражение:

$$M_i(\text{min}) = \frac{[(\Delta K_i / T_{\text{стр}}) (\gamma_1 / \gamma_2)] - \Delta C_i}{0,365 \cdot Q \cdot H_i \cdot \alpha \cdot \Pi_i}$$

В инструкции ГКЗ СССР [44] приведены минимальные концентрации полезных компонентов в промышленных водах, при которых необходимо опробовать эти воды на указанные компоненты. Эти

концентрации составляют (мг/л): для йода 10, брома 200, оксида бора 250, магния 1, калия 0,01, лития 10, рубидия 3, цезия 0,5, стронция 300, германия 0,05. Приведенные концентрации можно рассматривать как первое приближение к браковочным кондициям. Однако следует учитывать, что во многих схемах переработки промышленных вод предусматривается их предварительное концентрирование. Кроме того, отдельные компоненты могут накапливаться в тех или иных звеньях технологической цепи, выделяться совместно с полуфабрикатами или конечными продуктами. Поэтому судить о целесообразности утилизации полезных компонентов по их содержанию в природной воде представляется преждевременным. Решение этого вопроса зависит главным образом от принятой технологической схемы переработки подземных промышленных вод и может быть обосновано только после того, как такая схема будет разработана.

ОБОСНОВАНИЕ КОНДИЦИЙ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Кондициями называется совокупность требований к качеству подземных вод и основным условиям их добычи, определяющим экономическую эффективность использования этих вод в качестве минерального сырья. Параметры кондиций выражаются предельными значениями натуральных показателей, характеризующих подземные воды и условия их добычи, при которых промышленное использование этих вод является технически возможным и экономически целесообразным. Таким образом, кондиции определяют границу между балансовыми и забалансовыми запасами и служат основанием для подсчета балансовых запасов.

В качестве кондиций для подсчета запасов промышленных подземных вод подлежат обоснованию следующие параметры:

- минимальное содержание полезных компонентов в водах оцениваемого месторождения (участка);
- максимальное содержание вредных примесей;
- максимальное понижение динамического уровня в эксплуатационных скважинах;
- минимальный дебит эксплуатационных скважин.

Если ликвидация сточных вод проектируется путем их подземного захоронения, то одновременно должны быть обоснованы параметры кондиций для полигона захоронения:

минимальная приемистость поглощающих скважин; максимальный напор на устье поглощающих скважин; максимальное содержание вредных примесей в сточных водах. Параметры кондиций для подсчета запасов подземных промышленных вод могут определяться как экономическими соображениями, так и ограничениями, вытекающими из геологических условий месторождения или технических возможностей его отработки. Так, например, максимальное снижение динамического уровня может быть ограничено кровлей продуктивного горизонта. Обычно оно ограничивается техническими показателями существующих водоподъемных средств. Аналогичным образом минимальный дебит эксплуатационных скважин при достаточном естественном притоке в скважину контролируется подачей насосного оборудования. Многолетняя практика эксплуатации месторождений промышленных подземных вод в артезианских бассейнах показала, что химический состав этих вод остается практически неизменным в течение всего расчетного срока эксплуатации. Для таких месторождений минимальное содержание полезных компонентов и вредных примесей совпадает со средним их содержанием и подлежит экономическому обоснованию только в части определения перечня извлекаемых компонентов. Однако на месторождениях, находящихся в более сложных гидрогеологических условиях, возможно постепенное снижение качества промышленных вод в процессе их эксплуатации, и минимальные промышленные содержания должны выводиться в этом случае из экономических соображений.

Кондиции должны устанавливаться применительно к оптимальной схеме отработки месторождения. Отыскание такой схемы составляет основную по сложности и трудоемкости задачу, решаемую в процессе обоснования кондиций. Критерием оптимизации для месторождений подземных промышленных вод, как и для других полезных ископаемых, является регламентированный типовой методикой [12] показатель денежной оценки R_p , вычисляемый по формуле (62).

Зависимости между параметрами кондиций и технико-экономическими показателями добычи и переработки промышленных подземных вод достаточно сложны и в общем случае аналитическому выражению не поддаются. Поэтому основной методический прием оптимизации — это анализ ряда вариантов отработки месторождения. Чаще всего (хотя и не всегда) в качестве управляемого параметра при построении ряда вариантов выступает производительность промысла. Выбор производительности промысла при геолого-экономической оценке месторождений промышленных

вод играет ту же роль, что и оконтуривание балансовых запасов при оценке месторождений твердых полезных ископаемых. Продолжая эту аналогию, заметим, что снижение от варианта к варианту предельного динамического уровня подземных вод по смыслу равнозначно прирезке новых блоков на месторождениях твердых полезных ископаемых.

В существующей практике подлежащие сравнению варианты производительности промысла зачастую выбираются произвольно, а иногда даже регламентируются заранее в геологическом задании на разведку. В результате вместо задачи оптимизации решается задача выбора лучшего из нескольких вариантов неизвестного качества. В то же время имеются объективные предпосылки для вполне обоснованного формирования сравниваемых вариантов. Эти предпосылки заключаются в следующем.

Производительность промысла определяется предельным снижением динамического уровня, который, в свою очередь, зависит от технологии добычи воды: при фонтанном способе эксплуатации максимально возможное снижение уровня не превышает избыточного напора над устьем скважин; добыча воды с помощью эрлифтов ограничивается глубиной 400 — 450 м; существующие погружные электронасосы имеют напор до 700 м; на больших глубинах возможно только применение штанговых насосов (станков-качалок). Каждый последующий (в порядке перечисления) способ добычи воды дороже предыдущего, но в пределах одного способа себестоимость кубометра воды остается практически постоянной. В то же время расширение масштабов производства при прочих равных условиях ведет к сокращению себестоимости единицы продукции и соответствующему росту прибыли. Поэтому среди вариантов с одинаковой технологией добычи, переработки подземных вод и ликвидации стоков наиболее выгодным будет вариант с максимально возможной величиной балансовых запасов, т. е. с максимально возможным для данной технологии понижением динамического уровня в конце расчетного срока эксплуатации.

Из формулы (10) видно, что помимо снижения уровня S на производительность водозабора оказывают влияние также его геометрические параметры, входящие в формулу в виде приведенного радиуса z . Рассмотрим, как влияет на экономические показатели изменение z при фиксированном значении S (строго говоря, параметры z и S не являются независимыми, так как при определении S учитываются срезки уровня от взаимного влияния скважин водозабора; однако для нашего чисто качественного анализа этим обстоятельством можно пренебречь).

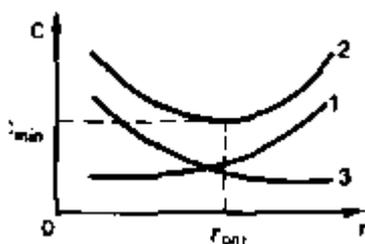


Рис. 34. Изменение себестоимости добычи и переработки 1 м^3 промышленной воды C в зависимости от приведенного радиуса водозабора;
1 — 3 — себестоимость (1 — добычи, 2 — переработки, 3 — суммарная)

Параметр z входит в формулу (10) хотя и во второй степени, но под знаком логарифма. Это означает, что производительность промысла растет при увеличении приведенного радиуса водозабора не пропорционально ему, а гораздо медленнее. При реальных значениях стоящего под знаком логарифма выражения (10^3 - 10^4) увеличение радиуса водозабора вдвое дает прирост производительности всего на 20%. В то же время затраты на сооружение и эксплуатацию всех коммуникаций промысла растут прямо пропорционально приведенному радиусу водозабора, вследствие чего удельные затраты на добычу 1 м^3 также возрастают (рис. 34). Расчеты показывают, что сокращение затрат на переработку воды в связи с некоторым увеличением производительности промысла не полностью компенсирует такой рост затрат на добычу. Поэтому суммарные удельные затраты на добычу и переработку промышленной воды оказываются минимальными при некотором значении $z_{\text{опт}}$ (см. рис. 34). Отсюда следует важный вывод: при каждом заданном значении S может (и должна!) быть найдена оптимальная геометрия промыслового водозабора, обеспечивающая минимум удельных затрат на добычу и переработку промышленной воды.

С учетом сказанного можно сформулировать правило построения ряда вариантов: для каждой технически возможной схемы добычи и переработки подземных вод рассматривается один вариант, предусматривающий максимальную для данной технологии добычи производительность промысла и оптимальную геометрию водозабора. Это правило существенно ограничивает число рассматриваемых вариантов. Однако надо иметь в виду следующее. Гарантией оптимальности выбранного

варианта является наличие худших вариантов как справа, так и слева от него (т. е. и с меньшей, и с большей производительностью). В любом случае оптимальность выбранного варианта должна быть обоснована с точки зрения геологической или технической невозможности или экономической нецелесообразности дальнейшего увеличения запасов с применением других технологических схем. Так, например, если лимитирующим параметром, как это чаще всего и бывает, оказывается снижение динамического уровня, то следует проанализировать возможность и целесообразность таких мер, как поддержание пластового давления или использование мягкой характеристики погружных электронасосов, которые могут развивать и больший напор при сокращении производительности и т. п.

Каждый из рассматриваемых вариантов должен быть оптимизирован с точки зрения применения наиболее экономичных технических и организационных решений отдельных элементов производственного процесса. Выбор таких решений обычно осуществляется путем сопоставления технически возможных вариантов по критерию минимума приведенных затрат:

$$C_j + E_n * K_j \rightarrow \min,$$

где C_j — себестоимость единицы продукции данного участка производства; K_j — удельные капиталовложения на единицу продукции данного участка производства; E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, равный 0,15. Единицей продукции по всем элементам сырьевой базы (добыча, сбор, транспортировка воды) является 1 м^3 промышленной воды франко-приемные емкости завода; по перерабатывающему предприятию — 1 т товарной продукции, по системе ликвидации сточных вод — 1 м^3 сточных вод.

Приведенный критерий оптимизации является общепризнанным при выборе технических решений, он регламентирован методикой, утвержденной Госпланом СССР и Госстроем СССР [32]. Следует, однако, заметить, что этот критерий не вполне совпадает с критерием оценки месторождений полезных ископаемых R_p . Такое расхождение между общим и частным критериями оптимизации с методической точки зрения является недопустимым, хотя в практических расчетах различия результатов оценки вариантов по этим критериям оказываются незначительными. Тем не менее представляется необходимым согласовать критерий оценки частных технических решений с общим критерием оценки месторождения. Такой критерий можно записать в виде:

$$\sum_{j=1}^r \frac{c_j}{(1 + E_{ин})^t} + \frac{k_j}{T_{стр}} \sum_{j=1}^{r+r} (1 + E_{ин})^j \rightarrow \min, \quad (64)$$

где C_{jt} — годовые эксплуатационные запасы по j -у варианту в t -м году (если эти затраты в течение срока эксплуатации не меняются, то удобнее вынести их за знак суммы); K_j — первоначальные капиталовложения в j -м варианте.

В зависимости от наличия в конкретных условиях оцениваемого месторождения альтернативных вариантов технических решений экономическому обоснованию подлежат:

по сырьевой базе — размещение и конструкция промысловых скважин, выбор водоподъемных средств, водосборные сети (конфигурация, диаметр, источники энергии перекачки), трасса и конструкция магистрального водопровода с насосными станциями;

по перерабатывающему заводу — технология водоподготовки (в том числе возможность концентрирования путем естественного испарения), выбор технологии извлечения полезных компонентов, повторное использование отходов производства;

по системе ликвидации сточных вод — способы их нейтрализации и очистки, расположение и конструкция поглощающих скважин, методы искусственного повышения их приемистости, конструкция водопроводных сетей, выбор насосного оборудования.

В расчетах в целях обоснования технических решений себестоимость C , и удельные капиталовложения K_j могут учитываться не целиком, а только по тем статьям и элементам затрат, которые отличаются в сопоставляемых вариантах.

Обязательным условием сопоставления вариантов по критерию (64) является качественная и количественная идентичность результатов, получаемых с помощью сравниваемых технических и организационных решений. В противном случае (например, если сравниваются технологические схемы переработки промышленных вод с различными коэффициентами извлечения) сопоставление вариантов необходимо делать по критерию R_p .

Таким образом, вышеописанная процедура обоснования кондиционных требований показывает, что существующий в настоящее время порядок геолого-экономической оценки месторождений и утверждения запасов полезных ископаемых не вполне логичен. Единый, по сути дела, процесс разбит

на два этапа: сначала рассматриваются и утверждаются кондиции, затем — подсчет запасов. Однако ясно, что кондиционные требования жестко связаны с величиной балансовых запасов, которые на стадии разработки кондиций определяются на основании так называемого оперативного подсчета. Выбирая параметры кондиций по одному из вариантов, мы тем самым фиксируем заложенные в этом варианте запасы подземных вод. Далее возможны два случая: либо результаты основного подсчета запасов будут отличаться от результатов оперативного подсчета, и тогда технико-экономические показатели и кондиционные требования, рассчитанные по данным оперативного подсчета, окажутся неверными; либо результаты основного подсчета запасов совпадут с результатами оперативного подсчета, и тогда рассмотрение и утверждение результатов основного подсчета запасов будут чисто формальной процедурой. С этих- позиций наиболее целесообразно объединить геолого-экономическую оценку и обоснование кондиций с подсчетом запасов, что могло бы в значительной мере упростить и сократить по времени процесс рассмотрения и утверждения запасов подземных вод.

ПРИМЕР ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Разведан участок месторождения промышленных подземных вод, расположенный в артезианском бассейне. Продуктивный горизонт имеет площадное распространение и залегает на глубине 1400 — 1500 м. Средняя глубина промысловых скважин 1550 м. Статический уровень устанавливается на глубине 60 м от поверхности. Естественные водопритоки в скважины при снижении уровня на 40 м составляют 1800 — 2000 м³/сут. Поэтому расчетные дебиты скважин определяются производительностью водоподъемных средств. Средняя водопроницаемость составила 15 м²/сут, коэффициент пьезопроводности — 10⁶ м/сут.

Продуктивный горизонт содержит рассолы хлоридного натриевого состава с общей минерализацией 250 г/л и следующим содержанием полезных компонентов (мг/л): йода — 30, брома — 250, бора — 20, лития — 15. Щелочность воды составляет 6 ммоль/л, содержание нафтеновых кислот 1,5 ммоль/л. Газовый состав вод характеризуется абсолютным преобладанием метана (до 99%). Газовый фактор 1,3 м³/м³. Температура воды на устье скважин 25 — 30° С. Предполагается, что химический состав и температура воды в процессе эксплуатации остаются постоянными.

Разработаны технологические регламенты получения из подземных вод разведанного участка следующих полезных компонентов: йода технического марки А, брома технического марки А, буры технической сорта 1, лития хлористого, кроме того, производственные сточные воды содержат значительное количество хлорного железа, которое может быть извлечено в виде раствора, соответствующего техническим условиям. Анализ потребности народного хозяйства в указанных видах продукции и источников ее получения показал, что вся предполагаемая продукция будет иметь сбыт, но ни один из ее видов не является остродефицитным, поэтому ценность продукции измеряется в действующих оптовых ценах.

Единственным способом ликвидации сточных вод является их подземное захоронение. Разведан полигон для захоронения, расположенный в 30 км от оцениваемого участка. Имеется возможность закачивать сточные воды в горизонт N или в продуктивный горизонт промышленных вод. В первом случае условия закачки благоприятные: приемистость скважин до 3000 м³/сут при давлении на устье 5 МПа, глубина 1000 м. При закачке в продуктивный горизонт условия хуже: приемистость скважин до 2000 м³/сут при давлении 10 МПа, глубина 1500 м. Однако это будет способствовать поддержанию пластового давления в продуктивном горизонте, в результате чего расчетное снижение уровня на оцениваемом участке увеличится на 80 м.

Сопоставление цен и затрат по видам продукции, (тыс. руб.)

Вид продукции	Годовые затраты на извлечение	Цена годового выпуска продукции	Прибыль (+), убыток (—)
Йод технический марки А	2060	6350	+4292
Бром технический марки А	1630	4710	+3080
Бура техническая, сорт 1	1220	1132	— 88
Литий хлористый	2350	8929	+6579
Железо хлорное	120	893	+773

Перерабатывающий завод предполагается расположить в районе полигона захоронения. Имеются соответствующие согласования на отвод земельных угодий, обеспечение электроэнергией, водой и химическими реактивами, соблюдение природоохранных и санитарных норм.

В табл. 42 приведено сопоставление цен годового выпуска всех видов продукции, которая потенциально может быть получена из разведанных подземных вод, с годовыми затратами на ее извлечение (без затрат на добычу и транспортировку воды, ликвидацию сточных вод, общезаводских расходов). Из сопоставления видно, что производство буры является убыточным. Остальные виды продукции — йод, бром, литий хлористый и хлорное железо — должны быть включены в перечень извлекаемых компонентов.

Обоснование технических решений отдельных элементов производственного процесса проиллюстрируем расчетом по выбору конструкций магистрального трубопровода. Скорость жидкости в магистральном трубопроводе во избежание выпадения солей должна быть не ниже 1,15 м/с. Этому условию при производительности 40 000 м³/сут удовлетворяют трубы диаметром 600 и 700 мм. Трубопровод меньшего диаметра дешевле, но из-за больших гидравлических сопротивлений потребуются более мощные перекачивающие насосы и повышенные энергетические затраты. Длина трубопровода 30 км. В расчете учтены только те статьи расходов, которые различаются в сопоставляемых вариантах. Техничко-экономические показатели по трубопроводам диаметром 600 и 700 мм приведены в табл. 43. Как при оценке по приведенным затратам, так и по критерию (64) более выгодным оказался трубопровод диаметром 700 мм.

Таблица 43

Сравнение затрат при различных диаметрах магистрального трубопровода

Показатели	Диаметр, мм	
	600	700
Стоимость трубопровода, тыс. руб.	1924 165	2392
Потери напора, м вод. ст.		
Марка насоса	ДХ750/240	ДХ650/90
Стоимость насосов, тыс. руб.	188	4 82
Итого капиталовложений К, тыс. руб.	2112	2474
Амортизационные отчисления и текущий ремонт, тыс. руб.	273	319
Затраты электроэнергии, 10 ³ кВт -ч	12045	6570
Установленная мощность, кВт	2400	1000
Затраты на электроэнергию, тыс. руб.	342	173
Итого годовые эксплуатационные затраты С, тыс. руб.	615	482
Приведенные затраты (С- <i>f</i> О, 15К), тыс. руб.	931,8	853,1
Срок эксплуатации Т, лет	27 4	
Критерий (64) при E _{нп1} = 0,03, тыс. руб.	13598,0	11 525,0

Рассматриваются три варианта эксплуатации участка, каждый из которых обеспечивает максимальную при данной технологии производительность промысла: I — компрессорный способ эксплуатации. Максимальная величина расчетного снижения уровня 400 м, что соответствует производительности промысла 23 X10³ м³/сут. Дебит скважины составляет 1,5X10³ м³/сут, общее число скважин с учетом резервных (10%) — 17. Число поглощающих скважин глубиной 1000 м — 8; II — подъем воды погружными насосами УЭЦКН-6-700/700 с закачкой сточных вод в горизонт N (без поддержания пластового давления). Максимальное расчетное понижение уровня 620 м определяется технической характеристикой насоса и соответствует производительности промысла 35-10³ м³/сут. Дебит скважины составляет 700 м³/сут, общее число промысловых скважин 55. Число поглощающих скважин глубиной 1000 м — 13; III — подъем воды теми же погружными насосами, но с закачкой сточных вод в продуктивный горизонт. При этом затраты на захоронение сточных вод повышаются, но за счет поддержания пластового давления максимальное расчетное понижение динамического уровня увеличивается до 700 м, что соответствует производительности промысла 40*10³ м³/сут. Число промысловых скважин 63, поглощающих — 22.

Дальнейшее увеличение производительности промысла возможно только с применением

штанговых насосов и станков-качалок. Расчеты показывают, что в этом случае стоимость добычи воды увеличивается примерно вдвое по сравнению с добычей воды погружными электронасосами и производство в целом станет убыточным.

Технико-экономические показатели сопоставляемых вариантов приведены в табл. 44. Максимальную денежную оценку #_р — 12,227 млн. руб. имеет III вариант, который и должен быть принят в качестве оптимального, а заложенные при его расчете параметры утверждены в качестве кондиций.

Таблица 44

Технико-экономические показатели разработки участка

	Варианты		
	I	и	in
Расчетное снижение динамического уровня, м	400	620	700
Производительность промысла, тыс. м ³ /сут	23 27,4	35 27,4	40 27,4
Расчетный срок эксплуатации, лет			
Среднее содержание полезных компонентов, мг/л:			
иод	30	30	30
бром	250	250	250
Показатели	Варианты		
	I	II	III
ЛИТИЙ	15	15	15
Запасы полезных компонентов, тыс. т:			
иод	6,9	10,5	12
бром	57,5	87,5	100
литий	3,45	5,25	G
Извлечение полезных компонентов, доли ед.			
иод	0,87	0,87	0,87
бром	0,85	0,85	0,85
литий	0,82	0,82	0,82
Годовой выпуск продукции в натуральном выражении, т:			
иод технический марки А	220	335	383
бром технический марки А	1830	2784	3183
литий хлористый	626	953	1089
железо хлорное (раствор)	3358	5110	5840
Цена единицы продукции, руб/т:			
иод	16580	16580	16580
бром	1480	1480	1480
литий хлористый	8200	8200	8200
железо хлорное	153	153	153
Годовой выпуск продукции в денежном выражении, тыс. руб.:			
иод	3647,6	5554,3	6350,1
бром	2708,4	4120,3	4710,8
литий хлористый	5133,2	7814,6	8929,8
железо хлорное	513,7	781,8	893,5
Итого	12002,9	18721,0	20 884,2
Капиталовложения в промышленное строительство, млн. руб.:			
промысел	4,0	7,4	7,6

магистральный трубопровод 30 км	-3,2	4,1	4,1
перерабатывающее предприятие	5,2	7,3	7,8
ликвидация сточных вод	3,8	5,4	6,6
Итого	15,2	24,2	26,1
Сроки строительства, лет	2	3	3
Сопряженные капиталовложения, млн. руб.:			
жилищное строительство	4,0	5,0	5,0
долевое участие	2,0	2,0	2,0
Итого	6,0	7,0	7,0
Годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.:			
по добыче подземных вод	1370	3750	3920
транспортировке	3275	5873	6037 -
переработке	1215	1701	1823
захоронению сточных вод	4620	6468	7161
	1220	1708	2416
	1860	2604	3606
	Варианты		
	I	II	III
возмещению затрат на геологоразведочные работы	762	1151	1327
Итого	9187	14778	16647
Прибыль годовая, тыс. руб.	11 732	17797	19954
	2816	3943	4237
	271	924	930
Прибыль за весь срок эксплуатации, млн. руб.	25,7	51,1	53,7
Срок окупаемости капиталовложений, лет	9	8	8
Денежная оценка месторождения R_p (при $E_{\text{нп}} = 0,03$), млн. руб.	3,302	12,147	12,227

В числителе — показатель на начало эксплуатации, в знаменателе — на конец.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подземные минерализованные воды и рассолы глубоких горизонтов крупных платформенных артезианских бассейнов, предгорных и межгорных впадин являются часто ценным минеральным сырьем для добычи редких металлов, рассеянных элементов и минеральных солей. Однако обоснование возможности и целесообразности промышленного использования этого гидроминерального сырья требует регионального изучения закономерностей его распространения, проведения специальных геологоразведочных работ и оценки эксплуатационных запасов этого сырья на геолого-экономической основе как в пределах всего месторождения, так и на отдельных его участках, перспективных для практического освоения.

В настоящее время природные минерализованные воды являются источником получения в промышленных масштабах хлоридов натрия, кальцинированной соды, карналлита, оксида магния, хлора, брома, йода, бора, лития и ряда других компонентов и их соединений. Причем с каждым годом гидроминеральное сырье привлекает все более пристальное внимание как комплексный источник ценных элементов, потенциальные возможности которого пока полностью не раскрыты и не реализованы.

Советский Союз обладает значительными ресурсами подземных промышленных вод, небольшая часть которых используется для промышленной добычи йода и брома. Исследования региональных закономерностей распространения, геохимии и условий формирования подземных промышленных вод позволили выделить на территории СССР провинции и области таких вод, а также продуктивные водоносные горизонты и комплексы, к которым они приурочены. Дальнейшая региональная оценка и специализированное картографирование промышленных подземных вод дали возможность обо-

сноваً наличие месторождений гидроминерального сырья в различных областях и провинциях, определить контуры и размеры месторождений и оценить эксплуатационные запасы промышленных вод и содержащихся в них извлекаемых компонентов. Освоение месторождений гидроминерального сырья может полностью удовлетворить потребности ряда отраслей народного хозяйства в некоторых редких щелочных металлах, рассеянных элементах и минеральных солях и исключить импорт этой продукции из зарубежных стран.

Гидроминеральное сырье принципиально отличается от всех других видов полезных ископаемых, в том числе от твердых рудных, а также от нефти, газа, пресных и минеральных, а в ряде случаев и теплоэнергетических вод. В сопоставлении с твердыми полезными ископаемыми оно характеризуется рядом преимуществ, к числу которых относятся следующие: 1) широкое распространение в плане и разрезе водонапорных систем (артезианских бассейнов) и значительные геологические и эксплуатационные запасы; 2) поликомпонентный состав и возможность комплексной переработки; 3) возможность получать сырье с больших глубин и площадей одним водозабором; 4) отсутствие необходимости проведения капиталоемких горных работ и переработки и обогащения большой массы горных пород; 5) способность подземных вод к обогащению путем концентрирования, в том числе солнечного; 6) возможность механизации и автоматизации процессов добычи, сбора и транспортировки воды с использованием современной вычислительной техники.

Особенности глубоких подземных вод и условий их залегания создают определенные требования к методике их поисков и разведки. Подземные промышленные воды залегают на больших глубинах (1000 — 5000 м) и характеризуются широким региональным распространением; изучение и оценка их месторождений возможны лишь на широкой региональной гидрогеологической основе. Следствием особенностей распространения и условий залегания промышленных вод являются их высокая минерализация, температура и газонасыщенность, а также упругоэластичность заключающих их водоносных горизонтов и комплексов. Это потребовало разработки и применения принципиально новых теоретически обоснованных методов проведения гидрогеологических исследований при производстве геологоразведочных работ, методов анализа результатов этих исследований, оценки расчетных гидрогеологических параметров водоносных отложений и подсчета запасов подземных вод.

Поиски, разведка и обоснование целесообразности разработки месторождений подземных промышленных вод связаны с большими капитальными затратами на бурение и опытное гидрогеологическое опробование глубоких скважин. Поэтому требования к достоверности подсчета эксплуатационных запасов этих вод (и, следовательно, к надежности расчетных параметров, определенных по результатам гидрогеологических исследований) являются более жесткими по сравнению с требованиями к оценке запасов неглубокозалегающих подземных вод (например, пресных и минеральных), когда недостатки гидрогеологических исследований сравнительно легко восполнимы путем проведения дополнительных работ.

В настоящее время разработаны общие принципы геологоразведочных работ на промышленные воды и методы подсчета запасов их месторождений. Разработанная методика предопределяет стадийность и последовательность изысканий, содержание, технику и технологию проведения гидрогеологических исследований на различных стадиях поисков и разведки применительно к задачам подготовки месторождений к практическому освоению. Эффективность этой методики была подтверждена при проведении геологоразведочных работ на всех месторождениях промышленных подземных вод.

Разработка месторождений подземных промышленных вод и организация на этой основе производства продукции сопряжены с большими капитальными затратами в обустройство сырьевой базы и строительство промышленного предприятия. Особенностью производства, основанного на использовании глубоких промышленных вод, является относительно высокая стоимость сырья в себестоимости конечной продукции. Эта стоимость будет снижаться при более комплексном использовании гидроминерального сырья и расширении номенклатуры добываемой из него продукции. В связи с этим исключительно важным при оценке перспектив использования промышленных вод и обосновании минерально-сырьевой базы является предварительный экономический анализ возможных условий и показателей добычи полезных компонентов в процессе эксплуатации месторождений. Это привело к необходимости разработки принципов и методов обоснования кондиционных требований к месторождениям подземных промышленных вод и их общей геолого-экономической оценки с учетом эффективности разработки сырьевой базы и экономики основного производства.

Особенности глубоких подземных вод, стадийность и последовательность изысканий

обуславливают в каждом конкретном случае принципиальную необходимость строгого геолого-экономического обоснования целесообразности использования подземных промышленных вод в народном хозяйстве. Разработанная методика геолого-экономической оценки определяет возможность и необходимость обоснования перспектив промышленного освоения месторождений, начиная со стадии поисков, и уточнения этих перспектив по мере детализации поисково-разведочных работ. При этом использование единых принципов и методов геолого-экономической оценки месторождений промышленных вод позволяет решать эту задачу при наличии любого количества (и в любом сочетании) полезных компонентов.

Разнообразие гидрогеологических условий бассейнов промышленных вод, а также самих промышленных вод по составу, минерализации и содержанию полезных компонентов предопределяет отличие кондиционных требований для каждого изучаемого и оцениваемого месторождения. Это приводит к необходимости обоснования кондиций на гидроминеральное сырье для каждого месторождения и эксплуатационного участка.

Практический опыт показывает, что несмотря на частое сходство общих гидрогеологических условий месторождений промышленных вод в пределах крупных гидрогеологических регионов (платформенных областей, гидрогеологических районов первого порядка, т. е. крупных артезианских бассейнов) и эксплуатационных (или перспективных) участков в пределах одноименных месторождений, технико-экономические показатели эксплуатации водозаборов и извлечение полезной промышленной продукции могут существенно отличаться. Это может определяться разными (в том числе и географо-экономическими) причинами. Главными при этом являются гидрогеологические (глубины залегания водоносных горизонтов, их фильтрационные свойства, гидростатические напоры, минерализация, газонасыщенность и температура подземных промышленных вод), определяющие дебиты скважин, понижения в них динамических уровней в процессе эксплуатации, а также число скважин водозаборов, и технологические (физико-химические свойства подземных вод, концентрации в них полезных компонентов, наличие вредных примесей и др.), определяющие стоимость переработки подземных вод.

Вследствие этого, использование предложенных методов геолого-экономической оценки позволяет не только проанализировать возможность и целесообразность освоения того или иного участка или месторождения, но на базе сопоставления показателей освоения всех участков в пределах месторождения или нескольких месторождений выбрать наиболее перспективные с точки зрения экономики их разведки и разработки. Таким образом, поэтапная геолого-экономическая оценка обеспечивает правильное обоснование направления геологоразведочных работ на гидроминеральное сырье и повышение их экономической эффективности.

На той же предлагаемой геолого-экономической основе могут решаться задачи, касающиеся сроков ввода производственных мощностей по переработке промышленных вод на базе разведанных эксплуатационных запасов гидроминерального сырья. Эта задача является задачей оптимизации отраслевого масштаба, весьма трудоемка и требует использования быстродействующей электронно-вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А. С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. М., Недра, 1981. 284 с.
2. Балашиов Л. С., Галицын М. С., Ефремочкин Н. В. Методические рекомендации по геохимической оценке и картированию подземных редкометалльных вод. М., ВСЕГИНГЕО, 1977.
3. Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., Недра, 1970.
4. Бондаренко С. С. Геолого-экономические критерии оценки месторождений подземных промышленных вод. — Сов. геология, 1982, № 7, с. 108 — 119.
5. Бондаренко С. С. Изучение и комплексная оценка месторождений подземных промышленных вод. — Сов. геология, 1982, № 8, с. 108 — 117.
6. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. М., Недра, 1984.
7. Бондаренко С. С., Лубенский Л. А. Методические указания по геолого-экономической оценке месторождений подземных промышленных вод/ Под. ред. А. А. Шпак. М., ВСЕГИНГЕО, 1984.
8. Бондаренко С. С., Попов В. М., Стрелетов В. П. Основные типы месторождений и масштабы добычи гидроминерального сырья в капиталистических и развивающихся странах. М., ВИЭМС, 1986.
9. Боревский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. М., Недра, 1973.
10. Бочевер Ф. М., Веригин Н. Н. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М., Госстройиздат, 1961.

11. *Вартамян Г. С.* Поиски и разведка месторождений минеральных вод в трещинных массивах. М., Недра, 1977.
12. *Временная типовая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых ГКНТ и Госкомцен СССР.* М., 1980.
13. *Гидрогеология СССР.* Сводный том. Вып. 1. М., Недра, 1976.
14. *Гидрогеология СССР.* Сводный том. Вып. 3. М., Недра, 1977.
15. *Гуревич А. Е.* Практическое руководство по изучению движения подземных вод при поисках полезных ископаемых. Л., Недра, 1980.
16. *Денисов М. И., Кац А. Я.* Еще раз о дисконтировании как методе учета фактора времени. — Сов. геология, 1981, № 3, с. 16 — 21.
17. *Зайцев И. К., Толстихин Н. И.* Закономерности распространения и формирования минеральных (промышленных и лечебных) подземных вод на территории СССР. М., Недра, 1972.
18. *Закономерности распространения и формирования металлоносных рассолов* / Г. А. Голева, М. В. Торикова, Л. Н. Алексинская, Н. А. Солодов. М., Недра, 1981.
19. *Зорькин Л. М., Старобинец И. С., Стадник Е. В.* Геохимия природных газов нефтегазоносных бассейнов. М., Недра, 1984.
20. *Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод* / Под ред. С. С. Бондаренко, Н. В. Ефремочкина. М., Недра, 1976.
21. *Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ СССР технико-экономических обоснований кондиций на минеральное сырье.* М., ГКЗ СССР, 1984.
22. *Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям промышленных вод.* М., ГКЗ СССР, 1985.
23. *Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод.* М., ГКЗ СССР, 1983.
24. *Клименко И. А., Медведев С. А., Попов В. М.* Состояние и перспективы комплексной утилизации ценных компонентов природных и техногенных минерализованных вод. М., ВИЭМС, 1981.
25. *Коган Б. И.* Редкие металлы. Состояние и перспективы. М., Наука, 1979.
26. *Козловский Е. А.* Минерально-сырьевая база и фактор времени. — Сов. геология, 1979, № 3, с. 9 — 22.
27. *Корценштейн В. Н.* Методика гидрогеологических исследований нефтегазоносных областей. М., Недра, 1976.
28. *Крайнов С. Р., Швец В. М.* Основы геохимии подземных вод. М., Недра, 1980.
29. *Крашин И. И.* Моделирование фильтрации и теплообмена в водонапорных системах. М., Недра, 1976.
30. *Лубенский Л. А.* Стойкие показатели разведанных запасов пресных подземных вод и их применение для повышения эффективности гидрогеологических работ. М., ВИЭМС, 1982.
31. *Маврицкий Б. Ф.* Термальные воды складчатых и платформенных областей. М., Наука, 1981.
32. *Методика определения экономической эффективности капитальных вложений.* ЭГ № 2 — 3, 1981.
33. *Методические указания по изучению, региональной оценке и составлению карт прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод* / Под ред. С. С. Бондаренко. М., ВСЕГИНГЕО, 1972.
34. *Методы изучения и оценки ресурсов глубоких подземных вод* / Под ред. С. С. Бондаренко, Г. С. Вартамяна. М., Недра, 1986.
35. *Овчинников А. М.* Минеральные воды. М. Госгеолтехиздат, 1963.
36. *Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика* / Под ред. И. С. Зекцера. Новосибирск, Наука, 1983.
37. *Основы гидрогеологии. Методы гидрогеологических исследований* / Под ред. Н. И. Плотникова. Новосибирск, Наука, 1984.
38. *Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах* / Под ред. Е. В. Пиннекера. Новосибирск, Наука, 1982.
39. *Оценочные (браковочные) кондиции для месторождений вольфрама, молибдена, меди, олова, свинца, цинка и ртути.* М., ВИЭМС, 1977.
40. *Пиннекер Е. В.* Проблемы региональной гидрогеологии. М., Наука, 1977.
41. *Потапов Г. И.* Обоснование кондиционных требований для оценки эксплуатационных запасов йодобромных вод. — Тр. Всесоюз. заочн. политехи, ин-та. М., 1970, № 63, с. 54 — 111.
42. *Роговская Н. В.* Гидрогеологическое картирование. Обзор отечественного и зарубежного опыта составления гидрогеологических карт. М., Наука, 1981.
43. *Современное состояние освоения гидроминеральных ресурсов в качестве сырьевого источника редких элементов в СССР и за рубежом* / И. А. Клименко, С. А. Медведев, Ст. А. Медведев, М. В. Терентьева. М., ВИЭМС, 1983.
44. *Требования к комплексному изучению месторождений по подсчету запасов полезных ископаемых и компонентов.* М., ГКЗ СССР, 1982.
45. *Тышляк И. С., Дроздов В. В.* Исследование фактора времени с учетом особенностей горного производства. — Сов. геология, 1981, № 5, с. 25 — 32.
46. *Фейтельман Н. Г.* Экономическая оценка природных ресурсов. — Вопросы экономики, № 10, 1981, с. 63 — 73.
47. *Хачатуров Т. С.* Эффективность капитальных вложений. М., Экономика, 1979.
48. *Хрущов Н. А.* Учет фактора времени в процессе поисков, разведки и разработки месторождений полезных

ископаемых. — Сов. геология, 1981, № 7, с. 33-40.

49. Шпак А. А. Методические рекомендации по региональной оценке эксплуатационных запасов подземных термальных вод. М., ВСЕГИНГЕО, 1980.

50. Язвин Л. С. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. М., ВСЕГИНГЕО, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. ПОДЗЕМНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОДЫ И ИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Распространение и использование подземных промышленных вод

Подземные промышленные воды, их признаки

Распространение подземных промышленных вод в СССР

Использование подземных промышленных вод за рубежом

Месторождения и эксплуатационные участки подземных промышленных вод

Понятие о месторождениях подземных промышленных вод

Основные типы месторождений подземных промышленных вод

Эксплуатационные участки месторождений, водозаборы промышленных вод

Техника и технология разработки месторождений промышленных вод

Способы эксплуатации глубоких подземных вод

Назначение и конструкции скважин на промышленные воды

Экономические показатели добычи подземных промышленных вод

Глава 2. ИЗУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Методы изучения месторождений подземных промышленных вод

Стадийность и содержание гидрогеологических и геолого-экономических исследований

Методика гидрогеологических исследований на месторождениях подземных промышленных вод

Изучение гидрогеологических параметров глубоких водоносных горизонтов

Оценка эксплуатационных запасов подземных промышленных вод

Основные виды ресурсов и запасов месторождений

Эксплуатационные запасы промышленных вод, их классификация и категоризация

Методы оценки эксплуатационных запасов месторождений промышленных вод

Основные показатели качества подземных промышленных вод и их обоснование

Региональная оценка и картографирование месторождений подземных промышленных вод

Глава 3. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Цели, задачи и основные принципы геолого-экономической оценки

Методология геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых

Измерение ценности продукции

Учет фактора времени

Денежная оценка месторождений полезных ископаемых

Глава 4. ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Технико-экономические показатели освоения месторождений подземных вод

Оценка подземных промышленных вод как комплексного минерального сырья

Обоснование кондиций для подсчета запасов подземных промышленных вод

Пример геолого-экономической оценки месторождения промышленных подземных вод

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ББК 26.326

Б81 УДК 556.34:553.04

Бондаренко С. С., Лубенский Л. А., Куликов Г. В.

Б81 Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. — М.: Недра, 1988. — 203 с.: ил.

ISBN 5-247-00047-1

Приведены сведения об условиях залегания и распространения промышленных вод. Рассмотрены перспективы расширения их использования в качестве гидроминерального сырья для добычи рассеянных элементов, редких металлов и солей. Дана оценка экономической целесообразности использования этих вод на всех стадиях геологоразведочных работ. Изложены методы изучения и оценки месторождений подземных промышленных вод. Особое внимание уделено описанию принципов и методов геолого-экономической оценки месторождений глубоких подземных вод.

Для гидрогеологов, занимающихся разведкой, оценкой и освоением месторождений глубоких подземных вод.

1804080000-135

Б----- 133-88

043(01)-88

ББК 26.326

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Бондаренко Сергей Сергеевич, Лубенский Лев Абрамович, Куликов Геннадий Васильевич

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

Заведующий редакцией *Р. В. Добровольская*

Редактор издательства *Н. В. Венгерцева*

Переplet художника *Г. И. Бронниковой*

Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*

Технический редактор *Е. Л. Закашанская*

Корректор *Л. В. Виранцева* И Б № 6322

Сдано в набор 11.12.87 Подписано в печать 21/04/88. Г-0591М. Формат 60x48 /16. Бумага офсетная N 2. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,74. Уел кр.-отт. 12,99. Уч.-изд. л. 14,М. Тираж 21.30 ih.i. Закал 2074/647-1. Цена 70 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047. Москва, ил. Белорусского вокзала, 3 Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» им. А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054. Москва, Валуевая, 28. Зак. 2004

OCR Pirat