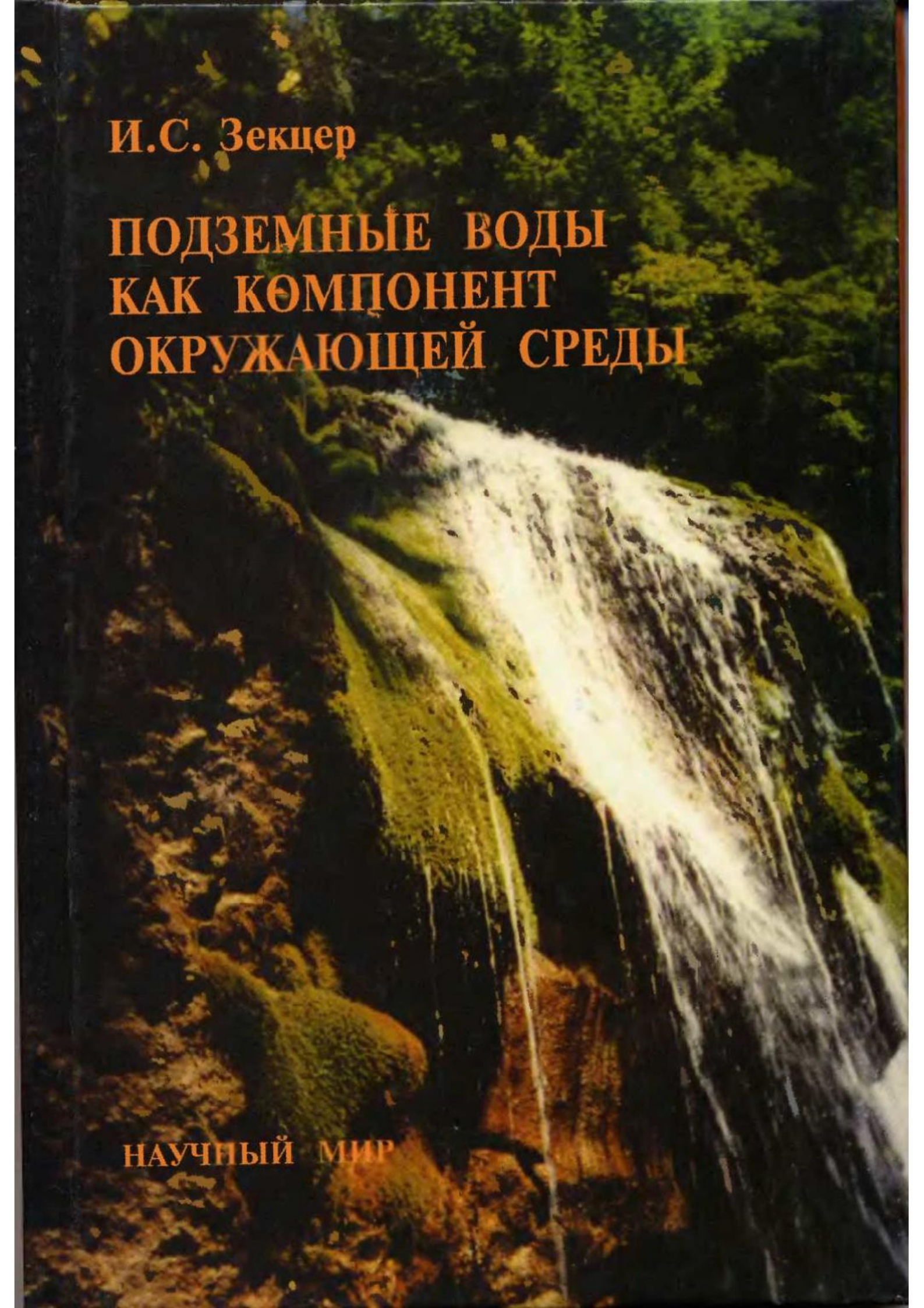


И.С. Зекцер

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАК КОМПОНЕНТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

НАУЧНЫЙ МИР

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE OF WATER PROBLEMS

I.S. ZEKTSER

GROUNDWATER AS A COMPONENT OF THE ENVIRONMENT

MOSCOW
SCIENTIFIC WORLD
2001

И.С. ЗЕКЦЕР

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАК КОМПОНЕНТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МОСКВА
НАУЧНЫЙ МИР
2001

УДК 556.3.626.81+637.67
ББК 26.222
348

Зекцер И.С.

348 **Подземные воды как компонент окружающей среды.** – М.: Научный мир, 2001. – 328 с.: 3 цв. вкл.

ISBN 5-89176-149-1

Характеризуется роль подземных вод в общих водных ресурсах и водоснабжении населения, промышлениости и сельского хозяйства. Рассматриваются основные принципы и методы региональной оценки и картирования естественных ресурсов пресных подземных вод в различных природных и антропогенных условиях. На конкретных примерах показана роль подземных вод в формировании водного и солевого баланса морей и крупных озер (Каспийское море, Байкал, Балхаш, Иссык-Куль и др.). Анализируется связь загрязнения подземных вод с общим загрязнением окружающей среды. Анализируется международный опыт изучения защищенности подземных вод от загрязнения и излагаются современные методы оценки и картирования их уязвимости к загрязнению. Рассматриваются возможные экологические последствия влияния крупного отбора подземных вод на различные компоненты окружающей среды. Рассматривается возможное влияние качества питьевых вод на здоровье населения. Особое внимание уделяется состоянию и перспективам использования пресных подземных вод в России.

УДК 556.3.626.81+637.67
ББК 26.222

Zektser I.S.

Groundwater as a component of the environment. – Moscow: Scientific world, 2001. – 328 p.: 3 color ill.

The role of groundwater in total water resources and public, industrial and agricultural water supply is characterized. Main principles and methods of regional natural groundwater resources assessment and mapping in different natural and anthropogenic conditions are discussed. The role of groundwater in water and salt balance of seas and large lakes such as the Caspian Sea, Baikal Lake, Balkhash Lake, Issyk-Kul Lake and etc., formation is shown on concrete examples. Interconnection between groundwater and environment contamination is analyzed. International experience in studying groundwater vulnerability to contamination is given in the book. Modern methods of groundwater vulnerability assessment and mapping are described. Ecological effects of significant groundwater withdrawal on different components of the environment. Also it is discussed the influence of drinking water of health population. Particular attention is paid to state and perspectives of fresh groundwater use in Russia.

ISBN 5-89176-149-1

© Зекцер И.С., 2001
© Научный мир, 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 11

Глава 1. **Проблема пресной воды** 22

Глава 2. **Роль подземных вод в водоснабжении населения, промышленности и сельского хозяйства** 27

2.1. Основные понятия 27

2.2. Современное состояние и основные принципы рационального использования подземных вод 33

2.3. Сверхэксплуатация подземных вод 43

2.4. Ресурсы подземных вод России и их использование 49

2.4.1. Современное состояние региональных исследований 49

2.4.2. Основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод 55

2.4.3. Эксплуатационные ресурсы подземных вод 61

2.4.4. Эколого-гидрогеологические проблемы использования подземных вод для водоснабжения г. Москвы 77

Глава 3. **Принципы региональной оценки и картирования естественных ресурсов подземных вод** 87

Глава 4. **Роль подземных вод в водном и солевом балансе морей и крупных озер** 100

4.1. Современные представления о подземном стоке в моря 100

4.2. Основные принципы изучения и количественной оценки подземного стока в моря 115

4.3. Роль подземных вод в глобальном водном и солевом балансе 131

4.4. Подземный сток в крупные озера 177

Глава 5. **Загрязнение окружающей среды и подземных вод** 198

5.1. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и окружающей среды 198

5.2. Качество и загрязнение подземных вод и питьевого водоснабжения 202

Глава 6. **Уязвимость и защищенность подземных вод** 216

6.1. Современное состояние региональных исследований 216

6.2. Принципы оценки и картирования уязвимости подземных вод 225

Глава 7. **Влияние отбора подземных вод на окружающую среду** 234

7.1. Влияние на речной сток 234

7.2. Влияние на растительность 240

7.3. Влияние на проседание земной поверхности 246

Глава 8. **Использование подземных вод и здоровье населения** 256
8.1. Медико-экологическое значение водного фактора 256
8.2. Медико-экологические аспекты использования подземных вод для питьевого водоснабжения 268
Глава 9. **Влияние инженерно-хозяйственной деятельности на ресурсы и режим подземных вод** 289
9.1. Влияние городских агломераций, промышленного и гражданского строительства на подземные воды 289
9.2. Влияние сельскохозяйственного освоения территорий 300
9.3. Влияние гидротехнического строительства 301
9.4. Влияние разработки месторождений твердых полезных ископаемых 304
Заключение 308
Литература 314

TABLE OF CONTENT

Introduction 17

Chapter 1. **The problem of fresh water** 22

Chapter 2. **The role of groundwater in water supply of population, industry and agriculture** 27

2.1. Main notions 27

2.2. Current state and main principles of rational groundwater use 33

2.3. Groundwater overexploitation 43

2.4. Groundwater resources in Russia and their use 49

2.4.1. Regional investigations: modern state of the art 49

2.4.2. Main regularities of groundwater natural resources formation and distribution 55

2.4.3. Perspectives of groundwater use 61

2.4.4. Ecological and hydrogeological problems of groundwater supply in Moscow 77

Chapter 3. **Principles of regional assessment and mapping of natural groundwater resources** 87

Chapter 4. **The role of groundwater in water and salt balance of seas and large lakes** 100
4.1. Groundwater discharge to seas: present day concept 100
4.2. Main principles and quantitative assessment of groundwater discharge to seas 115
4.3. Groundwater contribution in the global water and salt balance 131
4.4. Groundwater discharge to large lakes 177
Chapter 5. **Environment and groundwater pollution** 198
5.1. Interconnection between groundwater pollution and environment 198
5.2. Quality and pollution of groundwater and environment 202
Chapter 6. **Groundwater vulnerability and protection** 216
6.1. Regional investigations: state of the art 216
6.2. Principles of groundwater vulnerability assessment and mapping 225
Chapter 7. **Ecological consequences of groundwater pumping out** 234
7.1. Influence on river runoff 234
7.2. Influence on vegetation 240
7.3. Influence on land surface subsidence 246
Глава 8. **Groundwater use and public health** 256
8.1. Medical and ecological significance of the water factor 256
8.2. Medical aspects of groundwater used for drinking water supply 268
Глава 9. **Impact of human activity on groundwater regime and resources** 289
9.1. Impact of urbanization, industry and civil engineering on groundwater 289

9.2. Impact of agriculture on groundwater 300
9.3. Impact of hydraulic structures on groundwater 301
9.4. Impact of hard mineral deposits development on groundwater 304
Conclusion 311
References 314

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия понятие об окружающей нас природной среде не только укоренилось в научной литературе, но и прочно вошло в нашу повседневную жизнь. Прошло много международных конференций и симпозиумов, посвященных охране окружающей среды, организованных ООН, ЮНЕСКО, ЮНЕП и другими международными союзами и ассоциациями. Специалисты многих стран мира выражают беспокойство по поводу прогрессирующего загрязнения воды и воздуха, истощения земельных и лесных ресурсов и вообще "бурного" вмешательства человека в природу. В высокоразвитых странах становится, как сказал поэт, "все меньше окружающей природы, все больше окружающей среды". Это обстоятельство волнует многих, и не только специалистов.

В решении проблемы охраны окружающей среды и разработке мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов участвуют специалисты разного профиля – географы, геологи, экологи, почвоведы, гидротехники, биологи, экономисты. В последние десятилетия в обсуждение этой проблемы включились писатели, журналисты, деятели искусства. Такой живой интерес широкой общественности к "взаимоотношениям" человека с природой свидетельствует прежде всего о том, что всем нам далеко не безразлично, в какой окружающей среде будем жить мы сами, наши дети и внуки.

Нужно понимать и помнить, что любой вид хозяйственной деятельности (промышленное, гидротехническое и гражданское строительство, вырубка леса, мелиорация и распашка земель, использование поверхностных и подземных вод и т.д. вплоть до осуществления проектов регионального перераспределения водных ресурсов) всегда и неизбежно оказывает влияние на окружающую среду. И главная задача науки – научиться правильно прогнозировать возможные изменения в окружающей среде, разработать научные основы рационального природопользования (справедливо выражение "используя – охраняй, охраняя – используй!"), разработать научно обоснованные рекомендации по предотвращению отрицательного влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду.

В последние десятилетия во многих странах стало очевидным, что одним из важнейших природных ресурсов являются подземные воды. Геологи стали часто говорить, что подземные воды – это полезное ископаемое номер один. Еще в 1931 г. академик А.П. Карпинский писал о подземной воде: "Вода – это не просто минеральное сырье, это не только средство для развития сельского хозяйства, вода – это действительный проводник культуры, это та живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было".

В отличие от других полезных ископаемых, подземные воды имеют ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при оценке их запасов и определении перспектив их использования в народном хозяйстве. Главная особенность подземных вод – их возобновляемость в процессе общего круговорота воды, что коренным образом отличает подземные воды от всех других полезных ископаемых. Кроме того, и это очень важно, при эксплуатации подземных вод происходит не только расходование, но во многих случаях и дополнительное формирование, вызванное усилением питания подземных вод поверхностными водами, а также за счет уменьшения испарения с уровня грунтовых вод. Другая существенная особенность подземных вод – их подвижность и тесная взаимосвязь с окружающей средой. Подземные воды, с одной стороны, находятся в постоянном и

тесном взаимодействии с водовмещающими горными породами, а с другой – они связаны с поверхностными водотоками, морями, ландшафтами, растительностью. Именно эта особенность подземных вод – их связь с окружающей средой – будет рассмотрена в этой книге. Здесь же отметим, что подземные воды, составляя лишь 0,27% объема всей гидросферы, занимают значительное место в обеспечении потребностей человека в воде. Это драгоценное полезное ископаемое является предметом всесторонних и детальных исследований и обобщений.

Являясь частью окружающей среды, подземные воды находятся в сложных и разноплановых "взаимоотношениях" с другими ее компонентами. Положение уровня грунтовых вод определяет характер растительности, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур, определяет необходимость осушительных мероприятий при строительстве. Колебания уровня грунтовых вод в течение года и в многолетнем разрезе могут вызвать подтопление городских территорий и сельскохозяйственных угодий, способствовать развитию оползней и т.д. В ряде случаев интенсивный отбор подземных вод приводит к снижению земной поверхности, способствует активизации карстово-суффозионных процессов, влияет на водность рек, вызывает осушение земель.

С другой стороны, подземные воды испытывают на себе влияние других компонентов окружающей среды, особенно тех из них, которые подвергаются интенсивному изменению. Так, разливы рек во время половодий приводят к усилению питания подземных вод в речных долинах и, следовательно, к увеличению их естественных ресурсов. Вместе с тем регулирование поверхностного стока водохранилищами вызывает сокращение продолжительности и интенсивности паводков и обуславливает изменение режима питания водоносных горизонтов, что сокращает ресурсы подземных вод и ухудшает условия эксплуатации действующих водозаборов. Широкое развитие орошения, в том числе строительство ирригационных и обводнительных каналов, наоборот, вызывает увеличение ресурсов подземных вод прилегающих территорий.

Примеры взаимодействия подземных вод с другими компонентами окружающей среды можно было бы продолжить.

Настоящая монография посвящена одной из важнейших экологических проблем – изучению подземных вод как компонента окружающей среды. Причиной, побудившей написать эту книгу, послужило то обстоятельство, что автор, более четверти века занимающийся изучением подземных вод, неоднократно сталкивался с весьма ошибочными представлениями многих людей, в том числе и весьма образованных специалистов в других областях знаний, об этой важной составной части природного богатства Земли. Автор попытался обобщить и проанализировать имеющийся в различных странах, и прежде всего, в России и США, опыт интенсивной эксплуатации подземных вод и оценки влияния такой эксплуатации на окружающую среду. По убеждению автора, задача гидрогеологов при решении проблем водоснабжения именно и состоит в том, чтобы правильно обосновать то количество воды нужного качества, которое можно взять из водоносного горизонта в течение расчетного периода без ущерба для окружающей среды (в том числе и для самих подземных вод), или по крайней мере свести этот ущерб к минимуму с помощью специальных мероприятий.

Автор старался, чтобы предлагаемая книга была полезна не только (а может быть и не столько) профессиональным гидрогеологам, но и специалистам смежных областей знаний – географам, экологам, гидрологам, всем "водникам", заинтересованным в охране и рациональном использовании водных ресурсов. Автор также надеется, что его книга будет интересна широкому кругу просто любознательных читателей, обеспокоенных состоянием природных ресурсов своей страны. Именно такой расчет на многочисленную и разнообразную аудиторию предопределил структуру и стиль изложения книги. С одной стороны, книга охватывает чрезвычайно широкий и разнообразный круг вопросов: проблема воды на Земле и проседание земной поверхности, подземный сток в моря и океаны и медико-экологические проблемы водопользования, оценка и картирование ресурсов подземных вод и их уязвимость к загрязнению и роль подзем-

ных вод в глобальном водном балансе и т.п. Отсюда может возникнуть впечатление о некоторой фрагментарности книги, однако многоплановость и разнообразие затронутых гидрогеологических и экологических проблем объясняется желанием всесторонне с разных позиций охарактеризовать взаимосвязь и взаимодействие подземных вод с другими компонентами окружающей среды.

С другой стороны, именно рассчитывая на широкий круг читателей, автор старается изложить материал простым доступным языком, избегая сложных математических выкладок, описания моделей, детализации методов расчетов и т.п. В этом плане предлагаемая книга приближается к разряду научно-популярной литературы.

Следует отметить, что в последние годы появились интересные публикации по отдельным аспектам оценки влияния отбора подземных вод на окружающую среду. Среди них следует, прежде всего, отметить В.С. Ковалевского, Ж. Марга, Э. Кустодио, А.А. Жорова, В.Л. Злобиной, П.Э. Ламоро, Ю.О. Зеегофера и других специалистов, работы которых использованы при подготовке настоящей монографии.

Автор также широко использовал работы, опубликованные им в российской и зарубежной периодической печати персонально или в соавторстве с А.П. Белоусовой, Б.В. Боревским, В.А. Всеволожским, Р.Г. Джамаловым, А.В. Месхетели, И.Ф. Фиделли, Л.С. Язвиным. Пользуясь случаем, автор выражает им глубокую признательность за многолетнее творческое сотрудничество, без которого появление этой книги было бы просто невозможно.

В настоящей монографии разделы 2.2, 2.4.3 и 9.2–9.4 написаны автором совместно с д. г-м. н. Л.С. Язвиным, раздел 4.3 – совместно с д. г-м. н. Р.Г. Джамаловым при участии Т.И. Сафроновой, раздел 4.4 – совместно с к. г-м. н. А.В. Месхетели, глава 8 написана д. м. н. Л.И. Эльпинером, а раздел 9.1 – д. т. н. Е.С. Дзекцером.

Автор искренне признателен Л.П. Новоселовой и О.А. Каримовой за большую помощь при подготовке данной монографии

к печати. Автор считает своим приятным долгом искренне поблагодарить Д.Н. Коробову за большой труд по редактированию монографии.

Монография написана и опубликована при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 01-05-788067, 00-05-64671, 01-05-64173.

INTRODUCTION

In the last decades the idea of the environment has not only introduced itself in the scientific literature but also entered in our everyday life. A lot of international conferences and symposia dedicated to the environment protection have been carried out. They have been organized by UN, UNESCO, UNEP and many other international unions and associations. The specialists from different countries worry about increasing air and water pollution, land and timber resources depletion as well as the vigorous human interference into the nature, in general. In the developed countries it appears to be "less nature and more the environment", – as one poet said. This circumstance troubles a lot of people, not only specialists.

The specialists from different scientific fields – geographers, geologists, ecologists, soil scientists, hydrotechnicians, biologists, economists, – solve the problem of environmental protection and elaborate measures on rational use of natural resources. In the last decades writers, journalists, artists have started discussing this problem. A lively interest in the "interrelations" between humans and the nature of the society at whole testify to the fact that we do care about the state of the environment in which our children and grandchildren will live.

It is necessary understand and remember that any kind of business activity (industrial, hydrotechnical, and civil engineering, forest cutting, melioration and ploughing up, use of surface and ground water, etc.,

even projects of water resources transfer) inevitably influences the environment. And the main goal of science is

– to predict correctly possible changes in the environment,

– to elaborate scientific basis of rational use of natural resources (the expression "when using – protect; when protecting – use" is fair in this contest),

– to elaborate scientifically based recommendations on the prevention on adverse impact of business activity on the environment.

In the last decades in many countries the fact that groundwater is one of major parts of natural resources has become obvious. Geologists have started to explain that groundwater is a mineral №1. As far back as in 1931 Academician A.P. Karpinsky wrote about groundwater: "Water is not only a mineral but also a means to develop agriculture, water is a genuine conductor of culture, this is a living blood that creates life in the places previously not suitable for it".

However, unlike other minerals, groundwater has several specific features which one should count in assessing its quantity and perspectives of use for different purposes. The peculiarity of groundwater is its ability of renovation during the process of global water cycle that radically sets groundwater apart the other minerals. Moreover, it is very important that during groundwater exploitation it is not only withdrawn but also in many cases additionally formed because of increased supply from surface sources and decrease of evaporation from subsurface water table. Another important peculiarity of groundwater is its mobility and close interaction with the environment.

On one hand, groundwater is in permanent and close interaction with rocks, on the other hand, it is connected with surface flows, seas, landscapes, vegetation. This is the peculiarity we wrote this book about. It should be noticed that groundwater being only 0,27% of the whole hydrosphere volume plays a significant role in human needs in water. This precious mineral is a subject of comprehensive and detailed investigations and general conclusions.

Being the part of the environment groundwater has complex "relationships" with its other components. Types of vegetation, crop capacity, the necessity of drainage during periods of construction depend on the groundwater level. Annual and perennial groundwater level trends may cause underflooding of urban and rural territories, landslide development etc. In several cases intensive groundwater withdrawal leads to land subsidence, karst-suffosive processes growth. It influences river water balance, drainage.

On the other hand, other environmental components, especially those intensively impacted, exert pressure on groundwater. For instance, high water leads to the increase in groundwater supply in river valleys and, consequently, to the increase in groundwater resources. At the same time, the regulation of water flows by reservoirs causes the decrease in flood periods and evokes the change of aquifer supply regime. Because of this fact groundwater resources decrease and conditions of aquifers use get worse. Large development of drainage, including irrigation canals construction vice versa causes the increase in groundwater resources of neighborhood territories.

There are many more examples of the interaction between groundwater and other environmental components.

This monograph is dedicated to one of major ecological problems – study of groundwater as a component of the environment. The reason this book appeared was the fact that the author who has studied this problem for more than a quarter of a century heard more than once erroneous suggestions about this important part of the Earth' natural resources from a lot of people, including specialists of other scientific fields. The author tried to summarize and analyze the experience of intensive groundwater use and the assessment of its influence on the environment available in different countries, mainly in Russia and the USA. According to our conviction, the goal of hydrogeologists solving problems of water supply consists in substantiating water quantity that it is possible to withdraw from an aquifer during the time given without any harm for the environment (including

groundwater itself) or at least with minimum harm using special measures.

The author believes that this book could be useful for not only professional hydrogeologists but also for specialists of adjacent fields of science – geographers, ecologists, hydrologists, all water specialists who are interested in water resources protection and rational use. The author also hopes that this book could be interesting for a large circle of curious readers who worry about the state of natural resources in their country. This numerous and diverse audience predetermined style and structure of the book. On one hand, a large and various scope of problems is discussed: water problem on the Earth and land subsidence; groundwater flow into seas and oceans, medical ecological problems of water use; groundwater resources assessment and mapping; their vulnerability to pollution and groundwater role in global water balance, etc. On the other hand, taking into account a large circle of readers, the author tries to present material in easy and popular way avoiding complex mathematical formula, models description, detailing of calculation methods, etc. In this contest the book approaches popular scientific literature requirements.

The impression about some fragmentariness of the book may appear. However, the diversity of hydrogeological and ecological problems covered here can be explained by the wish for completely characterizing the interrelationships and interaction between groundwater and other components of the environment.

It should be noted that during last years interesting publications on several aspects of the influence of groundwater withdrawal on the environment have been published. These are works by V.S. Kovalevsky, J. Margat, E. Custodio, A.A. Jorov, V.L. Zlobina, P.E. Lamoro, Yu.O. Zeegofer and others. These publications were used during the process of the monograph preparation.

The author also used his works published in Russian and international press. Some of them were written with A.P. Beloussova, B.V. Borevsky, V.A. Vsevolzhsky, R.G. Dzhamalov, M.V. Kochetkov,

A.V. Meskheteli, I.F. Fidelli, L.S. Yazvin. The author takes an opportunity to express his deepest gratitude for longstanding cooperation.

In the monograph the paragraphs 2.2, 2.4.3, and 9.2–9.4 were written by the author with D. Sc. in geology and mineralogy L.S. Yazvin, paragraph 4.3. – with D. Sc. in geology and mineralogy R.G. Dzhamalov, paragraph 4.4. – with PhD in geology and mineralogy A.V. Meskheteli. Chapter 8 was written by MD L.I. Elpiner, paragraph 9.1. – by Ye.S. Dzektser.

The author expresses his sincere thankfulness to L.P. Novoselova and O.A. Karimova for their help in the book preparation.

The monograph was written and published with financial help of RFBR grants № 00-05-64671, 01-05-64173, 01-05-78067.

Глава 1

ПРОБЛЕМА ПРЕСНОЙ ВОДЫ

В течение тысячелетий у людей складывалось представление о питьевой воде как о веществе жизненно необходимом, но никогда не иссякающем, вечном. Однако с ростом народонаселения нашей планеты, с развитием промышленности и сельского хозяйства потребность в пресной воде резко возросла, и сейчас нехватка воды ощущается во многих районах.

В последние 20–30 лет заметно обострились проблемы, связанные с противоречиями между растущими потребностями человечества и природными ресурсами. К числу таких проблем относится и обеспечение населения питьевой водой полноценного качества. Глобальные масштабы этой проблемы в полной мере обозначились еще в 1977 г. на Конференции ООН по водным ресурсам. Анализ ситуации, сложившейся во многих странах мира и характеризующейся количественным и качественным дефицитом питьевой воды, ростом и масштабами заболеваемости населения, связанными с негативным влиянием водного фактора, явился причиной провозглашения 80-х годов "Десятилетием питьевой воды и санитарии".

Однако, судя по результатам целой серии крупных международных форумов более позднего периода, посвященных анализу водно-экологической обстановки, острота проблемы не только сохраняется, но и нарастает.

Недостаток в пресной воде отмечается на территории, составляющей около 60% всей площади суши Земли. Во многих

районах Земли водный фактор начинает сдерживать развитие промышленности и сельского хозяйства.

В чем причина нехватки пресной воды? В одних районах это объясняется природно-климатическими условиями (жара, засуха, редкое выпадение осадков, отсутствие крупных водоисточников), в других – интенсивным, а часто и нерациональным использованием воды в промышленных целях и, что особенно важно подчеркнуть, прогрессирующим загрязнением водных ресурсов отходами промышленного и сельскохозяйственного производства.

Большое количество воды требуется для промышленного производства и выращивания сельскохозяйственных культур. Так, если человеку требуется на питьевые и хозяйственные нужды около 300–400 л воды в сутки, то на производство 1 т сахара расходуется 100 тыс. л, стали – 150 тыс., капрона – 500 тыс. л. Для выращивания 1 кг растительной пищи необходимо в среднем 2000 л воды. Ориентировочные прогнозы показывают, что к 2000 г. общая потребность в воде в мире возрастет для коммунального водоснабжения в 2 раза, для водоснабжения промышленности – в 3 раза, сельского хозяйства – в 1,5 раза.

Ученые, специалисты разного профиля, общественные деятели, журналисты высказывают серьезную озабоченность нехваткой пресной воды. "Пресной воды, прежде широко распространенного в большинстве стран мира вида природных богатств, в ближайшие годы будет становиться все меньше", – считают американские экологи, авторы исследования "Окружающая среда в 2000 году". "Надвигается угрожающий кризис в снабжении питьевой водой!" – предупреждает Фрейбургский институт экологии в своем исследовании о бедственном положении с водой в Германии. «Сотни региональных проблем с водой, – констатирует американский журнал "Юнайтед Стейтс ньюс энд Уорлд репорт", – перерастают в общенациональный кризис».

По данным Всемирной организации здравоохранения, примерно 1,2 миллиарда человек страдают от нехватки питьевой воды. Особую озабоченность вызывают факты ухудшения гигиенических показателей питьевой воды, что отрицательно сказывается на состоянии здоровья значительных по численности групп населения в ряде развивающихся и капиталистических государств и требует поэтому срочных и решительных мер для исправления создавшегося положения. Около 80% всех случаев заболеваний в развивающихся странах связано с употреблением воды, не отвечающей санитарной норме. Мировая общественность уже давно заговорила о "водном голоде" планеты, о надвигающемся "водном кризисе". Хорошая вода стала предметом экспорта. Например, Гонконг получает воду по специальным трубопроводам из Китая, а в засушливые годы вода доставляется сюда танкерами. В некоторых странах Европы рассматриваются проекты закупки пресной воды.

Проблема воды стала международной. В соответствии с Международной гидрологической программой, принятой ЮНЕСКО, ученые и специалисты более ста стран мира объединяют свои усилия в изучении водных ресурсов, разработке научных рекомендаций по их рациональному использованию и охране от загрязнения и истощения, создании теории и методологии управления водными ресурсами.

Говоря о проблеме нехватки воды, уместно подчеркнуть, что общество уже осознало важное значение водного фактора. Во многих случаях наличие и возможности использования водных ресурсов определяют размещение производительных сил. Еще академик В.И. Вернадский, отметив исключительную роль воды в жизни общества, писал: "Природная вода охватывает и создает всю жизнь человека, едва ли есть другое природное тело, которое бы до такой степени определило его общественный уклад, быт, существование". Американский ученый C.W. Fetter свою знаменитую книгу "Практическая гидрология", выдержав-

шую несколько изданий и ставшую настольной для специалистов многих стран, начинает словами: "Вода есть эликсир жизни; без воды жизнь невозможна".

В настоящее время мировая потребность в воде составляет почти половину глобального стока воды за год. При этом 18 из 21 городов мира, с населением около 10 млн. человек в каждом, удовлетворяют свои потребности в воде за счет водоисточников, расположенных на большом расстоянии, либо за счет откачки подземных вод с больших глубин. Эксперты предупреждают, что вода станет доминирующей мировой проблемой в наступившем столетии, а трудности с водоснабжением могут даже стать угрозой социальной стабильности в мире.

В специальной информации Организации объединенных наций по случаю Всемирного дня воды, отмечаемого во многих странах, подчеркивается, что почти все крупнейшие города мира вступают в XXI век, столкнувшись с водным кризисом. Широко известен пример г. Мехико, где в результате откачки подземной воды произошло оседание земной поверхности на 10,7 м за последние 70 лет. Аналогичные явления наблюдаются в Хьюстоне, Бангкоке, Джакарте и других приморских городах, где проседание земной поверхности, вызванное интенсивной откачкой подземных вод, привело к вторжению морских вод и затоплению значительных территорий (подробнее проседание земной поверхности под влиянием откачки подземных вод рассматривается в разделе 7.3). С наступлением глобального потепления климата многие береговые города и островные государства могут столкнуться со сложной проблемой – сочетанием оседания и затопления земли с поднимающимся уровнем моря.

Одной из основных причин, углубляющих водный кризис, является загрязнение водных ресурсов. Так, в р. Колорадо, которая снабжает водой многие города и населенные пункты засушливых регионов Соединенных Штатов и Мексики, зарегистрировано увеличение почти вдвое концентраций солей за пос-

ледние 70 лет. В бассейне р. Волги, крупнейшей водной артерии европейской части России, загрязнение поверхностных и подземных вод достигло такого масштаба, что правительство России вынуждено было принять специальную федеральную программу "Возрождение Волги".

В развивающихся странах только пять процентов промышленных и хозяйственных отходов, производимых в городах, подвергаются очистке и обработке. Остальные, включая большую часть из двух миллионов тонн человеческих экскрементов, производимых ежедневно, и все токсичные и опасные побочные продукты промышленного производства, сбрасываются в реки и загрязняют водоносные горизонты.

Следует подчеркнуть, что правительства, специалисты и общественность многих высокоразвитых стран понимают опасность истощения и загрязнения водных ресурсов и принимают необходимые меры по их охране. Значительные работы в этом направлении проводятся в США, Германии, Англии, Франции, Австралии, скандинавских странах. Эффективная методика по переработке и повторному использованию сточных вод внедрена в Стокгольме.

Никак не претендуя на полноту изложения очень сложной и многоплановой проблемы использования и охраны водных ресурсов, автор привел указанные выше данные только для того, чтобы сделать важный вывод, а именно: одной из основных комплексных задач наук о Земле, прежде всего гидрологии, гидрогеологии и экологии, является разработка научных основ рационального использования и охраны водных ресурсов как в настоящий период, так и на перспективу. Важное место в решении этой задачи занимают пресные подземные воды – надежный источник питьевого водоснабжения во многих регионах и один из основных компонентов окружающей среды.

Глава 2

РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОСНАБЖЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

2.1. Основные понятия

Прежде всего напомним, что подземные воды находятся в основном в толще горных пород верхней части земной коры. В зависимости от характера пустот вмещающих пород подземные воды делятся на поровые – в песках, галечниках и других осадочных и обломочных породах, трещинные – в скальных и плотносцементированных породах (гранитах, песчаниках), разбитых трещинами, и карстовые – в растворимых породах (известняках, доломитах, гипсах и др.). Слои горных пород, насыщенные водой, образуют водоносные горизонты. Несколько этажно расположенных и тесно взаимосвязанных между собой водоносных горизонтов называют водоносным комплексом. Относительно водонепроницаемые слои (глины, плотные суглинки, нетрещиноватые сцементированные породы) получили названия водоупоров.

Здесь уместно остановиться на понятиях и терминах в области изучения и использования подземных вод, принятых в России, а также в странах бывшего Советского Союза и некоторых

странах Центральной и Восточной Европы. Эти понятия, отраженные в специальных документах и требованиях по оценке запасов полезных ископаемых, во многом определяют принципы оценки запасов и перспектив использования пресных подземных вод.

Для обозначения количества подземной воды существует ряд классификаций, в большинстве из них различают понятия "запасы" и "ресурсы". Понятие "ресурсы" было введено в гидрогеологию академиком Ф.П. Саваренским.

Необходимость введения этого понятия для подземных вод он обосновал тем, что подземные воды не обладают постоянными запасами как прочие полезные ископаемые, так как они непрерывно возобновляются в процессе общего круговорота воды. При использовании подземных вод часто приходится ориентироваться не только и не столько на тот объем, который занимают подземные воды в данном бассейне или водоносном слое, а на приток подземных вод. Поэтому Ф.П. Саваренский считал, что правильнее говорить не о "запасах" подземных вод, а об их "ресурсах", понимая под этим термином их поступление (питание) и расходование и оставляя за термином "запасы" лишь то количество воды, которое находится в данном бассейне (или водоносном слое) вне зависимости от его емкости. Емкость водоносного горизонта и запасы подземных вод в нем могут быть невелики, но производительность данного горизонта может быть значительной, если он обеспечен в своем питании. И наоборот, бассейн подземных вод может обладать значительными размерами, но ежегодное поступление воды в него может оказаться небольшим.

Отметим одну важную особенность подземных вод, связанную с оценкой перспектив их использования. Она заключается в том, что возможность отбора подземных вод зависит не только от количества воды, находящейся в пласте и поступающей в пласт в естественных условиях, но и от фильтрационных свойств

водовмещающих пород, определяющих сопротивление движению подземных вод к водозаборным сооружениям.

Указанные особенности подземных вод, принципиально отличающие их от других полезных ископаемых, определили необходимость выделения нескольких понятий, характеризующих:

– количество воды, находящейся в водоносном горизонте;

– количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных и нарушенных условиях;

– количество воды, которое может быть отобрано из водоносного горизонта рациональными водозаборными сооружениями.

Таким образом, если при оценке перспектив использования твердых полезных ископаемых, нефти и газа достаточно знать только их запасы, то для определения возможности рациональной эксплуатации подземных вод этого недостаточно.

Обычно выделяют естественные (синонимы – статические, вековые, геологические или емкостные) запасы подземных вод, характеризующие в объемных единицах общее количество воды в водоносном пласте. При оценке запасов подземных вод напорных водоносных горизонтов выделяют "упругие запасы" – количество воды, высвобождающееся при вскрытии водоносного пласта и снижении пластового давления в нем при откачке или самоизливе за счет объемного расширения воды и уменьшения порового пространства самого пласта. Эти запасы проявляются с момента вскрытия водоносного пласта до стабилизации воронки депрессии и перехода на стационарный режим эксплуатации.

В практике гидрогеологических исследований производят оценку естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод. Естественные ресурсы (синоним – динамические запасы) характеризуют величину питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения речного стока и перетекания из других водоносных горизонтов, суммарно выра-

женную величиной расхода потока или толщиной слоя воды, поступающего на уровень подземных вод. Таким образом, естественные ресурсы являются показателем восполнения подземных вод, отражая их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) обозначают количество воды, которое может добываться в единицу времени из водоносного горизонта рациональным в технико-экономическом отношении водозабором при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного периода эксплуатации. Таким образом, эксплуатационные запасы (ресурсы) являются одним из основных показателей возможности отбора подземных вод нужного количества и качества для различных целей. При этом по сложившейся традиции при региональных оценках обычно пользуются термином "эксплуатационные ресурсы", а при оценках для водоснабжения конкретных объектов – "эксплуатационные запасы". При оценке эксплуатационных запасов (ресурсов) учитывается возможность использования естественных, в том числе упругих запасов, естественных ресурсов, а также привлекаемых (дополнительных) ресурсов, образующихся непосредственно при эксплуатации водозаборов (привлечение поверхностных вод, подземных вод "непродуктивных" горизонтов и т.п.). Важным источником формирования эксплуатационных запасов могут служить искусственные ресурсы, создаваемые путем инфильтрации (или нагнетения) поверхностных вод в природные подземные емкости с помощью специальных сооружений или образующиеся в зоне влияния водохранилищ, на орошаемых массивах, вдоль каналов и т.п. за счет дополнительного питания подземных вод из поверхностных водоисточников.

Соотношение различных генетических составляющих эксплуатационных ресурсов подземных вод видно из следующего

наиболее общего уравнения баланса подземных вод эксплуатационного водозабора

$$Q_э = Q_е + \frac{W}{\Delta t} + \Delta Q$$

где $Q_э$ – дебит эксплуатационного водозабора; $Q_е$ – естественные ресурсы подземных вод; W – запас воды в водоносном пласте, срабатываемый при эксплуатации (т.е. сработка естественных запасов – осушение пласта в пределах воронки депрессии в случае безнапорного потока или сработка упругих запасов в случае напорного потока); Δt – расчетный срок эксплуатации водозабора; ΔQ – суммарные дополнительные ресурсы, привлекаемые в процессе эксплуатации.

При стабилизации воронки депрессии или неограниченном сроке эксплуатации ($\Delta t \to \infty$) второй член приведенного уравнения стремится к нулю. При этом дебит водозабора определяется расходом подземного потока, обеспеченного питанием и дополнительным притоком воды ΔQ (если имеются соответствующие для этого условия).

В первый период работы водозабора эксплуатационные ресурсы будут больше естественных ресурсов за счет сработки естественных запасов подземных вод, включающих емкостные и упругие запасы подземных вод. При неограниченном сроке эксплуатации ($\Delta t \to \infty$) эксплуатационные ресурсы по величине будут приближаться к естественным ресурсам (при $\Delta Q=0$).

Таким образом, естественные ресурсы подземных вод представляют собой тот верхний предел, который определяет питание постоянно действующих водозаборов с неограниченным сроком эксплуатации (за исключением водозаборов, дебиты которых формируются за счет дополнительных запасов, привлекаемых в процессе эксплуатации).

Следует иметь в виду, что в процессе эксплуатации происходит перестройка баланса водозабора, вызванная изменением ге-

нетических составляющих эксплуатационных ресурсов. Развитие депрессии в водоносном пласте при откачке может вызвать приток воды из рек, уменьшить испарение с поверхности грунтовых вод, вызвать или усилить перетекание воды из выше- и нижерасположенных водоносных горизонтов. Поэтому роль естественных ресурсов подземных вод как одного из генетических компонентов эксплуатационных ресурсов является различной на разных стадиях работы водозабора.

В России и ряде других стран ресурсы пресных подземных вод изучаются в двух основных направлениях:

1. производится разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод для обеспечения водоснабжения конкретных объектов (городов, предприятий);

2. проводится региональная оценка естественных и эксплуатационных ресурсов для перспективного планирования возможностей использования подземных вод.

Первая задача, благодаря работам прежде всего российских гидрогеологов (М.А. Альтовский, Н.Н. Биндеман, Ф.М. Бочевер, К.А. Плотников, Н.И. Плотников, Л.С. Язвин, Б.В. Боревский и др.) достаточно хорошо разработана в научно-методическом отношении. Исследования по второму направлению впервые зародились и начали широко развиваться в республиках бывшего Советского Союза 30–35 лет назад. Их развитие было вызвано прежде всего необходимостью оценить перспективы отдельных крупных территорий и страны в целом с точки зрения обеспеченности ресурсами подземных вод.

Не имея возможности в настоящей книге даже кратко рассмотреть опыт и результаты многолетних работ по региональной оценке ресурсов подземных вод, отметим лишь, что многие из этих работ, и в первую очередь региональные исследования естественных ресурсов подземных вод и подземного стока получили широкое международное звучание. Они были включены в Международную гидрологическую программу ЮНЕСКО, про-

водились и проводятся рядом стран с различной детальностью и в разных масштабах по отдельным регионам и артезианским бассейнам, ориентировочно оценены для всей суши Земного шара.

2.2. Современное состояние и основные принципы рационального использования подземных вод

В настоящее время пресные подземные воды играют значительную роль в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения многих стран. При этом отмечается тенденция к все большему использованию подземных вод для водоснабжения. Это объясняется тем общеизвестным фактом, что подземные воды, как источник водоснабжения, имеют ряд преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Прежде всего подземные воды, как правило, обладают лучшим качеством, более надежно защищены от загрязнения и заражения, меньше подвержены сезонным и многолетним колебаниям и в большинстве случаев их использование не требует дорогостоящих мероприятий по водоочистке.

Обычно подземные воды хорошего качества могут быть найдены в непосредственной близости от водопотребителя. В ряде районов, где поверхностные воды отсутствуют, водоснабжение населения и промышленности полностью основано на использовании подземных вод. Важно иметь в виду и экономический аспект: строительство водозаборов подземных вод может осуществляться постепенно по мере роста потребности в воде, в то время как строительство крупных гидротехнических сооружений для отбора поверхностных вод требует обычно значительных единовременных затрат. Эти преимущества и особенно меньшая уязвимость подземных вод к загрязнению

предопределили широкое использование подземных вод для водоснабжения.

Во многих европейских странах (Австрия, Бельгия, Германия, Венгрия, Дания, Румыния, Швейцария) использование подземных вод превышает 70% от общего водопотребления.

За последние 25–30 лет в мире было пробурено более 300 млн. скважин для отбора воды. Только в США ежегодно бурится около миллиона скважин, воды которых используются для хозяйственно-бытовых нужд, орошения, технического водоснабжения. Глубина эксплуатационных скважин колеблется в значительных пределах и определяется конкретными гидрогеологическими условиями территорий. Обычно она составляет 100–200 м, редко достигая 800–1000 и даже 2000 м.

Роль подземных вод в водоснабжении городов в различных странах и в различные периоды существенно изменялась. В целом на начальных этапах развития централизованного водоснабжения в качестве источника водоснабжения выступали, как правило, родниковые воды (где это было возможно). В дальнейшем по мере роста потребностей в воде все больше стали использовать поверхностные воды. Прогрессирующее их загрязнение во второй половине XIX в. и возникшие в связи с этим серьезные заболевания населения вызвали необходимость реконструкции систем водоснабжения, которая проводилась двумя путями: улучшением качества водоочистки, либо полным или частичным переходом на подземные источники водоснабжения (в том числе и на воду достаточно далеко расположенных родников). В качестве примера можно привести систему водоснабжения такого крупного города, как Париж, где в 1865–1900 гг. использовали родники на склонах возвышенностей, расположенные на расстоянии 80–150 км от города, а поверхностные воды стали использовать для технического водоснабжения (Шевелев, Орлов, 1987). Другим примером является Гамбург, где после вспышки холеры в 90-х годах прошлого столетия поверхностный во-

дозабор из Эльбы сменился эксплуатацией подземных вод. Однако в XX в. по мере роста потребностей и в связи с ограниченностью ресурсов подземных вод в ряде регионов для водоснабжения крупных городов существенно увеличилось использование поверхностных вод. Но продолжающееся загрязнение последних, а также участившиеся случаи непредвиденных аварийных сбросов загрязняющих веществ снова поставили на повестку дня максимальное использование защищенных подземных вод. И эта тенденция является сейчас определяющей в организации хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Наглядным примером роста отбора подземных вод является московский регион (рис. 2.2.1). Из графика видно, что примерно после 1985 г. наблюдается тенденция к снижению отбора

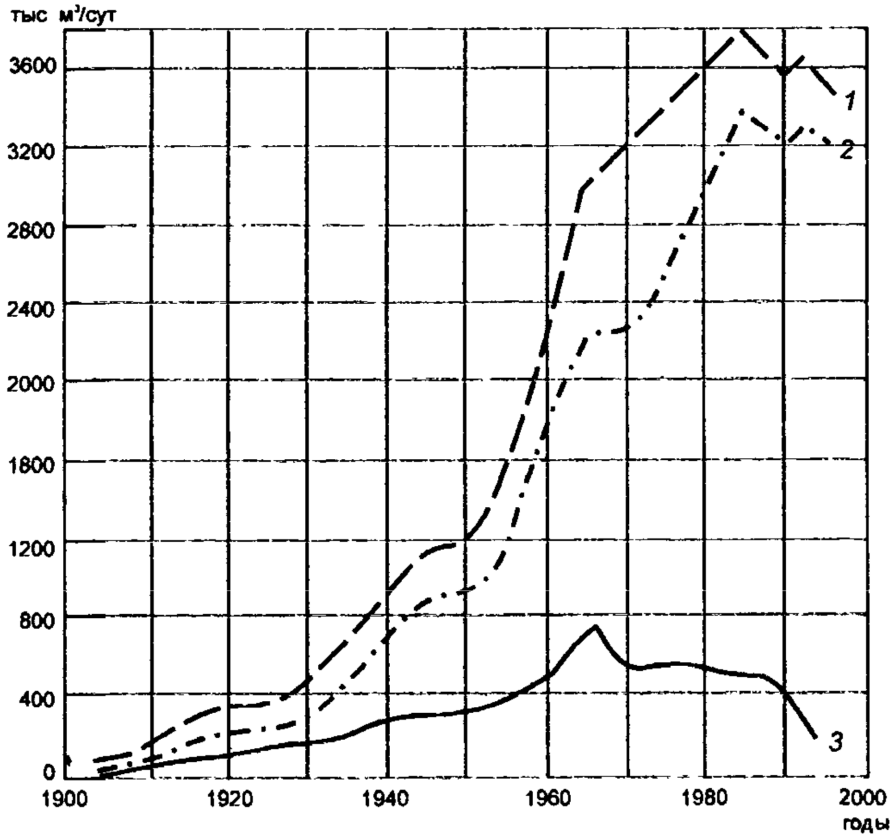


Рис. 2.2.1. Отбор подземных вод в Московском регионе (по данным Ю.О. Зеегофера)

1 – Московская область и Москва; *2* – Московская область; *3* – Москва

подземных вод, что связано, прежде всего, с усилением требований к охране окружающей среды, а также с рядом причин экономического характера.

По данным Европейской экономической комиссии подземные воды являются основным источником городского хозяйственно-питьевого водоснабжения в большинстве европейских стран. Полностью или почти полностью на подземных водах основано водоснабжение таких крупных городов Европы (с населением около миллиона человек и более), как Будапешт, Вена, Гамбург, Копенгаген, Мюнхен, Рим, а для таких городов, как Амстердам, Брюссель, Лиссабон, подземные воды покрывают более половины общей потребности в воде.

В таблице 2.2.1 приводятся сведения об использовании подземных и поверхностных вод в водоснабжении ряда крупных городов мира.

Таблица 2.2.1

Водоснабжение некоторых крупных городов

Город	Население, млн. человек	Источники водоснабжения	
		Поверхностные воды, %	Подземные воды, %
Амстердам	1,3	52	48
Антверпен	1,1	82	18
Барселона	3,3	83	17
Берлин	5,6	58	42
Брюссель	2,3	35	65
Вена	1,7	5	95
Гамбург	3,6	–	100
Глазго	5,2	63	37
Копенгаген	1,0	16	84
Лиссабон	2,1	45	55
Лондон	6,7	86	14
Мадрид	4,1	91	9
Москва	8,5	98	2
Мюнхен	1,6	–	100
Париж	7,1	60	40
Роттердам	1,4	90	10
Цюрих	0,5	70	30
Токио	11,3	89	11
Чикаго	5,9	88	12

Вместе с тем использование подземных вод в качестве источника крупного централизованного водоснабжения имеет ряд существенных ограничений. Так во многих случаях обеспечение подземными водами потребностей крупных и крупнейших городов, составляющих сотни тысяч и даже миллионы кубических метров в сутки, – задача нереальная либо из-за ограниченных ресурсов подземных вод, либо в связи с необходимостью создания на значительной площади системы из сотен и даже тысяч водозаборных скважин, строительство и эксплуатация которых требуют огромных ассигнований.

Имеется еще один очень важный аспект, который всегда необходимо помнить при решении проблем использования подземных вод, – они неразрывно связаны с другими компонентами окружающей среды. Любые изменения, например, количества атмосферных осадков, неизбежно вызывают изменения режима, ресурсов и качества подземных вод. И наоборот, изменения в подземных водах приводят к изменениям в окружающей среде. Так, интенсивная эксплуатация подземных вод концентрированными водозаборными системами может привести к недопустимому уменьшению поверхностного стока, оседанию земной поверхности, угнетению растительности, связанной с грунтовыми водами, активизации карстовых процессов. Отбор подземных вод может "подтягивать" минерализованные воды из глубоких водоносных горизонтов, малопригодные для питья, а в районах побережий – соленые морские воды. Все эти обстоятельства приходится учитывать при планировании использования подземных вод.

Влияние интенсивного отбора подземных вод на другие компоненты окружающей среды подробно будут рассмотрены в последующих главах книги. Здесь же приведем лишь один пример. Интенсивный отбор подземных вод для водоснабжения в г. Хьюстоне (штат Техас) вызвал значительное проседание земной поверхности. За 40 лет эксплуатации понижение земной по-

верхности в отдельных районах достигло 4 м, что вызвало затопление значительной территории морскими водами. После 1976 г. власти штата Техас приняли меры к сокращению откачки подземных вод в опасных районах (рис. 2.2.2) и осуществлению ряда мероприятий по искусственному восполнению подземных вод. После этого темпы проседания земной поверхности значительно снизились. Здесь же отметим, что Техас является одним из немногих районов в мире, где проводятся планомерные исследования, (включая стационарные наблюдения, моделирование и прогнозы) по оценке влияния интенсивного отбора подземных вод на проседание земной поверхности.

Нужно отметить, что в странах с аридным и полуаридным климатом подземные воды широко используются для орошения. За счет подземных вод орошается примерно 1/3 всех земель. Из общей площади орошаемых земель в США за счет подземных вод орошается 45% земель, в Иране – 58%, в Алжире – 67%, а в

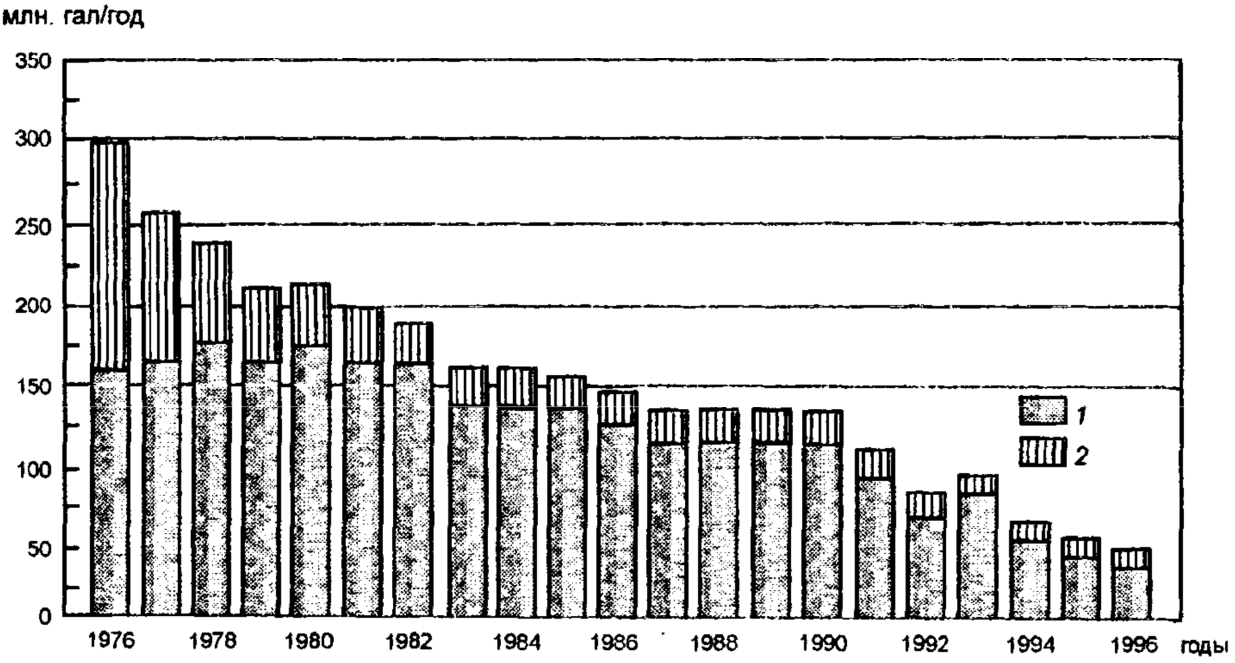


Рис. 2.2.2. Отбор подземных вод в районах проседания на территории Хьюстонского региона (из доклада по подземным водам, ХГССД, 1996)

1 – водоснабжение для населения; *2* – для промышленности

Ливии орошаемое земледелие целиком основано на подземных водах. Здесь же отметим, что в России на орошение земель и обводнение пастбищ расходуется лишь около 0,4 км^3/год, что составляет порядка 2% от общего отбора подземных вод. Хорошо это или плохо? Дело в том, что в России (как и в бывшем Советском Союзе) также как и в ряде других стран, существует достаточно строгое водное законодательство. Согласно этому законодательству пресные подземные воды высокого качества в первую очередь должны использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения. И только в районах, где оцененные ресурсы подземных вод достаточны для удовлетворения существующей и, главное, перспективной потребности в воде питьевого качества, возможно использование пресных подземных вод на другие цели (в том числе и на орошение), не связанные с питьевым водоснабжением населения, по специальному разрешению природоохранных органов. Такое законодательство, по нашему убеждению, является принципиально правильным. Мы должны стремиться использовать поверхностные воды на нужды, не связанные с питьевым водоснабжением. Может быть, иногда это дороже, чем использование подземных вод, но мы должны делать это, прежде всего, чтобы сохранить пресные подземные воды высокого качества для наших детей и внуков. Этот принцип разделяется большинством специалистов, в том числе и за рубежом. Однако он далеко не всегда соблюдается. Примером здесь может служить штат Калифорния. На орошение земель в этом штате расходуется примерно 85% от общих ресурсов подземных вод. По мнению автора этой книги, с которым согласны многие его американские коллеги, особенно гидрогеологи и экологи, такое положение является неправильным с точки зрения рационального использования подземных вод и его надо менять.

В настоящее время прогрессирующее загрязнение поверхностных водоисточников выдвинуло задачу повышения надежно-

сти систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. В качестве одного из основных способов повышения надежности систем водоснабжения следует рассматривать более широкое использование пресных подземных вод. При этом в ряде случаев необходимо оценить и перспективы совместного использования подземных и поверхностных вод. При наличии соответствующих условий может быть рекомендовано сооружение двух водозаборов: одного, основанного на подземных водах для питьевого водоснабжения, и другого, основанного на поверхностных водах, для технического использования.

При планировании использования подземных вод необходимо учитывать, что защищенность различных водоносных горизонтов неодинакова.

Практически полностью защищены от проникновения загрязняющих веществ с поверхности земли подземные воды напорных водоносных горизонтов, перекрытые выдержанными слабопроницаемыми глинистыми слоями. В этих условиях загрязнение может быть связано только с неудовлетворительным техническим состоянием водозаборных и разведочных скважин. Надежно защищены от загрязнения и родниковые воды в предгорных и горных районах в случаях, когда в областях их питания не осуществляется хозяйственная деятельность. Значительно хуже защищены подземные воды первых от поверхности водоносных горизонтов, особенно в речных долинах, где подземные воды тесно связаны с поверхностными, и при эксплуатации происходит подтягивание поверхностных загрязненных вод. Однако, даже в этих условиях защищенность подземных вод значительно выше речных, так как при движении загрязненных вод по толще горных пород происходит их самоочищение. Тем не менее, во всех случаях, где это возможно, предпочтение следует отдавать надежно защищенным напорным водам более глубоких водоносных горизонтов и родниковым водам.

Тенденция максимально возможного использования подземных вод для питьевого водоснабжения населения, особенно в связи с участившимися случаями непредвиденного (аварийного) загрязнения поверхностных водоисточников, должна стать в настоящее время определяющей в общей стратегии повышения надежности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. Эта стратегия должна быть направлена на обязательное участие надежно защищенных подземных вод в системах водоснабжения. В связи с этим в тех случаях, когда города и поселки в настоящее время обеспечиваются поверхностными, либо недостаточно защищенными от загрязнения подземными водами, необходимо направить усилия на полный перевод систем питьевого водоснабжения на надежно защищенные подземные воды, либо, когда это невозможно, – на обязательное наличие в системе водоснабжения источника, базирующегося на надежно защищенных подземных водах и удовлетворяющего не менее 25–30% от потребности в воде питьевого качества, либо на создание автономного источника питьевого водоснабжения.

Наиболее сложной задачей в обеспечении населения экологически чистой питьевой водой является организация водоснабжения крупных городов, потребности которых составляют сотни тысяч и даже миллионы кубических метров в сутки. Возможность полного удовлетворения таких потребностей из подземных водоисточников во многих случаях представляется нереальной ввиду ограниченности ресурсов подземных вод и необходимости сооружения сотен или даже тысяч водозаборных скважин на значительной территории, что требует больших финансовых затрат. В целом могут быть выделены три ситуации использования подземных вод для удовлетворения потребностей хозяйственно-питьевого водоснабжения крупных городов:

– потребности городов в воде хозяйственно-питьевого назначения могут быть полностью удовлетворены надежно защищенными подземными водами;

– потребности городов в такой воде могут быть частично удовлетворены надежно защищенными подземными водами;

– надежно защищенными подземными водами может быть удовлетворена только незначительная часть потребности. При этом целесообразно оценить возможность создания автономных источников питьевого водоснабжения на основе использования экологически чистых защищенных от загрязнения подземных вод.

В связи с весьма невысокими потребностями человека в воде для собственно питья и приготовления пищи, экологически чистые надежно защищенные подземные воды могут быть разведаны практически повсеместно. Они могут служить базой для создания автономного источника питьевого водоснабжения. Наиболее простой способ организации автономного питьевого водоснабжения – это подача в жилые дома питьевой воды по отдельному водоводу. Однако, по понятным причинам, прежде всего, экономическим, этот способ может быть реализован только в очень отдаленной перспективе. В связи с этим в качестве основного вида автономного питьевого водоснабжения следует рассматривать строительство заводов розлива экологически чистых питьевых вод с последующей их реализацией населению (Язвин, Зекцер, 1996).

Неравномерность распределения ресурсов, различная степень защищенности отдельных водоносных горизонтов от загрязнения, наличие гидрогеохимических провинций с повышенным содержанием отдельных нормируемых компонентов в подземных водах, возможное загрязнение и истощение эксплуатационных запасов подземных вод в связи с хозяйственной деятельностью, возможное негативное влияние отбора подземных вод на другие компоненты природной среды – все это предопределяет необходимость индивидуального подхода к решению вопроса об использовании подземных вод в каждом конкретном случае. Задача гидрогеологов при решении проблем водоснаб-

жения и состоит в том, чтобы правильно обосновать то количество воды нужного качества, которое можно отбирать из водоносного горизонта в течение расчетного периода без ущерба для окружающей среды (в том числе и для самих подземных вод) или же сводя этот ущерб к минимуму специальными природоохранными мероприятиями.

Именно на сочетании разумного отбора подземных вод с соблюдением норм их качества и основано понятие "рациональное их использование". Под рациональным использованием подземных вод рекомендуется понимать экономически целесообразную их эксплуатацию, обеспечивающую охрану от загрязнения и истощения их эксплуатационных запасов и позволяющую сохранить на заданном уровне поверхностные водные ресурсы и экологические условия.

2.3. Сверхэксплуатация подземных вод

В связи с возрастающим использованием подземных вод и интенсификацией их отбора все острее становится вопрос о допустимых пределах откачки подземных вод из водоносного горизонта, чтобы не допустить его истощения. Отсюда возникает необходимость определить, что следует понимать под "истощением" подземных вод. Прежде всего нужно отметить ошибочность представления о том, что любое снижение уровня подземных вод при их отборе свидетельствует об их истощении. Вообще без понижения уровня (напора) практически невозможна эксплуатация подземных вод. Другой вопрос – до какого предела может быть понижен уровень подземных вод при эксплуатации, чтобы не допустить необратимых изменений в ресурсах и качестве подземных вод.

Для обоснования возможностей и перспектив отбора подземных вод в целях водоснабжения в России и в странах бывше-

го Советского Союза введено и прочно вошло в практику гидрогеологических поисково-разведочных работ понятие об эксплуатационных ресурсах подземных вод. Как указывалось выше, под эксплуатационными ресурсами понимается то количество подземных вод, которое может отбираться в течение расчетного периода (обычно 25 лет) рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями без прогрессирующего снижения уровня и ухудшения качества воды, а также с учетом требований природоохранных мероприятий. Последнее относится, прежде всего, к необходимости сохранения природных ландшафтов (реки, почвы, растительность и др.) с тем, чтобы не допустить или минимизировать отрицательное воздействие водоотбора на окружающую среду. Оценка эксплуатационных ресурсов производится на основании специальных поисково-разведочных и опытно-фильтрационных работ. Результаты оценки рассматриваются и опробируются территориальными или государственными комиссиями по запасам полезных ископаемых. Только после этого разрешается строительство водозаборных сооружений и эксплуатация подземных вод для водоснабжения или орошения. Считается, что истощение водоносного горизонта происходит только в том случае, если величина водоотбора превышает утвержденную величину эксплуатационных запасов или снижение уровня в результате эксплуатации превышает предельно допустимую величину понижения.

Понятие об "эксплуатационных запасах" подземных вод, по нашему мнению, имеет недостатки, заложенные прежде всего в самом определении. Что такое "рациональные в технико-экономическом отношении водозаборные сооружения?" Наверное то, что мы считаем "нерациональным" сегодня, например откачки с больших глубин, может завтра оказаться рациональным при совершенствовании бурового и насосного оборудования. Поэтому величина эксплуатационных ресурсов, как показатель воз-

можности отбора определенного количества подземных вод будет меняться со временем, что не очень удобно при определении перспектив использования подземных вод. Кроме того, в ряде случаев, особенно при оценке возможности отбора подземных вод для водоснабжения конкретного потребителя, эксплуатационные запасы оцениваются только для удовлетворения заданной конкретной потребности в воде и таким образом не характеризуют общую потенциальную возможность данного водоносного горизонта или его части. Однако понятие об эксплуатационных ресурсах подземных вод, даже при высказанном замечании, является весьма важным и полезным в практическом отношении.

Близким по смыслу является понятие "сбалансированного отбора" подземных вод, введенного Геологической службой Гавай, где горизонты пресных подземных вод подстилаются и контактируют с морскими водами и где, поэтому, особенно важно определить сколько пресной подземной воды можно откачивать без истощения водоносного горизонта и, главное, без ухудшения качества откачиваемой воды (Susfainelle, 1994). При этом под "сбалансированным" отбором подземных вод понимается усредненный объем отбираемой воды, не наносящий ущерба ресурсам подземных вод в водоносном горизонте и не ухудшающий качества вод или дебита водопунктов (водоисточников). Этот термин используется применительно к отбору воды скважинами, колодцами, инфильтрационными галереями и другими водозаборными сооружениями. Для каждого водоносного горизонта сбалансированный отбор определяется путем установления равновесных и временных соотношений между питанием, естественной разгрузкой, объемом воды в породе и отбором. Сбалансированный объем в количественном отношении всегда меньше, чем величина питания. Применительно к Гавайям введение понятия "сбалансированный отбор" стало руководящим принципом для выдачи разрешения на фактические работы по

отбору подземных вод для различных хозяйственных нужд. При нарушении основных принципов сбалансированного отбора на Гавайях немедленно возникает подток соленых вод к водозаборам, что влечет за собой резкое ухудшение качества отбираемых пресных вод. В некоторых случаях при отсутствии прямой связи водоносного горизонта с водами моря может произойти полная сработка ресурсов подземных вод.

В последние годы в ряде стран, в первую очередь европейских с напряженным водным балансом, поднимается вопрос о "сверхэксплуатации" подземных вод.

Понятие об сверхэксплуатации подземных вод было введено в 70-х годах нашего столетия известным французским гидрогеологом Ж. Марга. При этом Ж. Марга под сверхэксплуатацией понимал отбор подземных вод в количествах, превышающих их питание. Однако позднее сам Ж. Марга (1982) отмечает, что понятие "сверхэксплуатации" водоносного горизонта является противоречивым и даже двусмысленным, так как иногда оно применяется к гидравлической концепции несбалансированной эксплуатации, приводящей к истощению ресурсов подземных вод (отбор превышает их восполнение), а иногда к многоаспектному представлению об избыточной эксплуатации с нежелательными последствиями. Не обязательно любую откачку, превышающую восполнение, следует рассматривать как сверхэксплуатацию и запрещать. Известны многочисленные примеры (об этом подробнее будет сказано ниже), когда в условиях временного дефицита водных ресурсов в рамках существующей системы их управления сознательно планируется отбор подземных вод, превышающий их восполнение. И наоборот, эксплуатация при динамическом равновесии не обязательно свободна от нежелательных последствий. Е. Кустодио (1982) правильно подчеркивает, что определение сверхэксплуатации путем сравнения откачки и питания не всегда просто, а иногда и неосуществимо из-за неопределенности расчетов питания, связанной, в частно-

сти, с недостаточностью учета времени трансформации инфильтрующихся атмосферных осадков в естественные ресурсы эксплуатируемого водоносного горизонта, а также со сложностью учета изменений в питании подземных вод, вызванных хозяйственной деятельностью человека (включая искусственное восполнение подземных вод).

В связи с этим, целесообразно определить, что следует понимать под истощением подземных вод. Российские специалисты (Л.С. Язвин, Б.В. Боревский, Н.И. Плотников и др.) различают два понятия: "истощение подземных вод" и "истощение эксплуатационных запасов подземных вод". Истощение подземных вод происходит всегда, когда водоотбор превышает их питание и происходит сработка их емкостных (гравитационных и упругих) запасов. Истощение эксплуатационных запасов на водозаборах происходит тогда, когда темпы снижения уровня подземных вод при эксплуатации превышают предельно допустимые темпы, установленные при оценке эксплуатационных запасов. Принципиальным в различии этих понятий является то, что при истощении эксплуатационных запасов обязательно проведение мероприятий по борьбе с их истощением (ограничение отбора подземных вод, их искусственное восполнение), а при истощении подземных вод проведение таких мероприятий необязательно и требуется только в отдельных случаях. Более того, в определенных социальных и экономических условиях при крайней необходимости истощение подземных вод может планироваться по аналогии со сработкой любых других не восполняемых полезных ископаемых (Язвин, Зекцер, 1996).

Охрана подземных вод от истощения их запасов включает: регулирование величины водоотбора в соответствии с установленными запасами подземных вод; искусственное восполнение запасов на действующих водозаборах, в том числе создание подземных водохранилищ; защиту подземных вод при разработке

месторождений твердых полезных ископаемых, в том числе – использование подземных вод, извлекаемых при водоотливе для орошения земель, технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения, упорядочение учета отбора подземных вод.

Имеющийся опыт крупного отбора подземных вод свидетельствует, что превышение отбора над питанием подземных вод, особенно если это превышение наблюдается сравнительно короткие периоды времени, не является чем-то необычным и не вызывает серьезных беспокойств. Так, проведенные специальные исследования (Лопес Камачо и др., 1991) показали, что на Испанском полуострове и Балеарских островах из 369 бассейнов подземных вод 92 считаются сверхэксплуатируемыми, где откачка превышает восполнение. Это превышение на площади 23000 км^2 составляет 650 млн. м^3/год или 13% от общей величины откачиваемой воды. Эта ситуация считается допустимой и контролируемой. В настоящее время принято несколько временных деклараций о сверхэксплуатации, в новом испанском законе о воде дается понятие о сверхэксплуатации. Организован мониторинг подземных вод. При этом особое внимание уделяется ситуации на Балеарских и Канарских островах, где сверхэксплуатация представляет угрозу для подтягивания соленых морских вод к водозаборам.

Можно привести множество примеров сверхэксплуатации, когда уровень подземных вод значительно снижен в результате отбора подземных вод. Так, водоносный горизонт Огаллала (Ogallala) на юге США, распространенный на площади около 135000 км^2, уже в течение более 60 лет сверхэксплуатируется. При этом уровни подземных вод на 20% территории снижены на 20–30 м, а отбор подземных вод превышает их восполнение в 10–15 раз. Использование подземных вод в этом районе на орошение приносит большие доходы. В настоящее время принимаются меры к некоторому сокращению отбора подземных вод.

В Калифорнии из 392 бассейнов подземных вод 42 считается сверхэксплуатируемыми. И хотя это обстоятельство не вызывает особого беспокойства американских специалистов, откачка подземных вод здесь сокращена с 5000 до 2500 млн. $м^3$/год.

Ярким примером значительного снижения уровней подземных вод, вызванного "сверхэксплуатацией" в течение десятков лет, является Московский артезианский бассейн.

В заключение настоящего раздела следует отметить, что хотя проблема "сверхэксплуатации" подземных вод и не вызывает особых опасений с точки зрения истощения запасов подземных вод (во всяком случае, если под "сверхэксплуатацией" понимать превышение отбора над питанием подземных вод), тем не менее ей уделяется большое внимание прежде всего при оценке влияния значительного снижения уровней подземных вод на различные компоненты окружающей среды. Более подробно эти вопросы будут рассмотрены в специальной главе настоящей монографии. Здесь же отметим, что проблема сверхэксплуатации подземных вод подробно обсуждалась на конкретных фактических примерах на 23 Международном конгрессе Международной ассоциации гидрогеологов (Испания, апрель 1991), избранные доклады которого опубликованы ("Selected papers", 1992).

2.4. Ресурсы подземных вод России и их использование

2.4.1. Современное состояние региональных исследований

Исследования по региональной оценке естественных и прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод были начаты в конце 50-х годов в связи с конкретными запросами практики – необходимостью оценить перспективы отдельных регио-

нов и страны в целом с точки зрения обеспеченности ресурсами подземных вод.

В короткий срок была выполнена региональная количественная оценка **естественных ресурсов** пресных подземных вод территории страны, завершившаяся изданием комплекса карт подземного стока и соответствующей монографии.

Впервые были получены величины естественных ресурсов для территории страны и крупных его регионов, выявлены основные закономерности их формирования в зависимости от физико-географических и геолого-гидрогеологических условий, установлены пространственно-временные особенности изменений удельных величин и коэффициентов, характеризующих подземный сток.

Разработанная методика региональной оценки естественных ресурсов подземных вод и подземного стока дала возможность объективно и экономически эффективно провести их расчеты путем анализа и обработки уже имеющихся гидрологических и гидрогеологических материалов без проведения специальных разведочных работ (более подробно см. гл. 3).

На опубликованных картах подземного стока территории бывшего СССР отражены среднемноголетние модули подземного стока, характеризующие расход подземного потока с 1 км^2 площади, коэффициенты подземного стока, показывающие отношение величин питания подземных вод к атмосферным осадкам, и коэффициенты подземного питания рек, отражающие роль подземных вод в общем речном стоке. Кроме того, на картах показаны природные условия и факторы, определяющие закономерности формирования естественных ресурсов (состав и стратиграфическая принадлежность водовмещающих пород, районы развития карста, распространение линз пресных вод, участки поглощения поверхностных вод и др.).

Исходя из принципа единства природных вод, карты подземного стока позволяют решать следующие важные практические

задачи, связанные с комплексным использованием и охраной водных ресурсов:

– определять подземный сток и естественные ресурсы пресных подземных вод для оценки водообеспеченности отдельных районов страны;

– определять величину подземного стока в реки для характеристики подземной составляющей речного стока как наиболее устойчивой части ресурсов поверхностных вод, а также для прогноза изменений речного стока и экологической обстановки под влиянием интенсивного отбора подземных вод;

– определять величину питания (восполнения) подземных вод для региональной оценки их эксплуатационных ресурсов при составлении водохозяйственных балансов экономических районов и природно-территориальных комплексов;

– определять величину подземного стока как элемента водного баланса территории страны и отдельных ее районов при перспективном планировании комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Опыт региональной оценки и картирования подземного стока в бывшем СССР получил международное признание. В соответствии с Международной гидрологической программой ЮНЕСКО специалистами ряда стран Европы проводились исследования по изучению условий формирования, количественной оценке и картированию подземного стока на территории Центральной и Восточной Европы. Итогом этих работ явились "Карта подземного стока Центральной и Восточной Европы" в масштабе 1:1 500000 и монография к ней, опубликованные в 1982–1983 гг.

В последние годы завершены крупные международные исследования по региональной оценке и картированию естественных ресурсов подземных вод суши Земного шара. Результатом этих исследований, в которых принимали участие специалисты многих стран мира, стала опубликованная в 1999 г. в США "Карта

гидрогеологических условий и подземного стока суши Мира" в масштабе 1:10 000 000 (главные редакторы Р.Г. Джамалов и И.С. Зекцер).

Указанные исследования явились вкладом в выполнение Международной гидрологической программы ЮНЕСКО и могут служить примером объединения усилий ученых разных стран в решении важной научной проблемы.

Региональная оценка **эксплуатационных ресурсов** подземных вод сводится к определению величины водоотбора из водоносных горизонтов при условии, что к концу эксплуатации понижение уровня подземных вод не должно превышать проектного значения (заранее установленного на основании данных о параметрах водоносных слоев), а качество воды должно удовлетворять определенным нормативам. При региональной оценке обычно производится подсчет как потенциальных, так и прогнозных эксплуатационных ресурсов. В чем их различие? Потенциальные эксплуатационные ресурсы характеризуют максимально возможный отбор подземных вод из водоносного горизонта, а прогнозные ресурсы показывают возможное использование подземных вод при определенном расположении водопотребителей или с учетом заявленной потребности в воде. При этом региональная оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов проводится либо применительно к условному расположению водозаборов, либо (если это известно) с учетом схемы размещения конкретных водопотребителей и заявленной потребности в воде.

В последние годы в России выполнены значительные работы по региональной оценке эксплуатационных ресурсов подземных вод всех артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов страны. Были составлены карты различного масштаба, на которых отражены модули эксплуатационных ресурсов. При этом под модулем эксплуатационных ресурсов понимался расход воды, который в среднем можно получить с 1 км^2 площа-

ди распространения водоносного горизонта. При региональной оценке эксплуатационных ресурсов по отдельным перспективным районам учитывались потребности в воде конкретных водопотребителей и возможное расположение будущих водозаборов. В результате для большинства гидрогеологических районов страны установлена принципиальная возможность использования подземных вод и создана основа для планирования поисково-разведочных работ в целях организации водоснабжения конкретных объектов.

Следует подчеркнуть, что решение о проектировании и строительстве водозаборов подземных вод принимается не по результатам региональной оценки их естественных или эксплуатационных ресурсов, а только после проведения специальных работ с обязательным утверждением эксплуатационных запасов подземных вод в государственной или территориальной комиссии по полезным ископаемым. В соответствии с нормативными документами Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых эксплуатационные запасы подземных вод по степени их изученности подразделяются на категории, причем выделяются как наиболее изученные категории А и Б, дающие право строить водозаборы подземных вод. Объем и методика поисково-разведочных работ (включающие бурение скважин и их опытные испытания, наблюдения за изменениями уровня и химического состава подземных вод и другие работы), а также способы расчета запасов подземных вод зависят прежде всего от конкретных гидрогеологических условий и степени изученности района работ.

Накопление и обобщение опыта разведки подземных вод в различных гидрогеологических условиях и анализ данных, полученных при эксплуатации ряда крупных водозаборов, вызвали необходимость разработки ряда теоретических положений динамики подземных вод. Это привело к созданию принципиально новых основ разведки и оценки запасов подземных вод,

базирующихся на теории неустановившегося движения, упругого режима фильтрации и перетекания через слабопроницаемые отложения. Большое значение имела разработка представлений о граничных условиях водоносных горизонтов как факторах, определяющих закономерности формирования запасов подземных вод, и принципов схематизации гидрогеологических условий для расчетов запасов. При оценке запасов подземных вод широко применяются методы математического моделирования, которые способствуют повышению их достоверности и рационализации поисково-разведочных и опытно-фильтрационных работ.

Исследования, выполненные в России в последние годы под руководством Л.С. Язвина и Б.В. Боревского, позволили обосновать представления о месторождениях подземных вод, усовершенствовать методику поисково-разведочных работ, разработать более обоснованную классификацию эксплуатационных запасов.

В настоящее время понятие о месторождении подземных вод широко вошло в практику. При этом под "месторождением подземных вод" понимается такая часть площади распространения водоносных горизонтов или комплексов, в пределах которой под влиянием естественных или искусственных факторов создаются наиболее благоприятные по сравнению с окружающей территорией условия для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целесообразного их использования в народном хозяйстве.

В России для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения и орошения земель разведано несколько тысяч месторождений пресных и солоноватых подземных вод, эксплуатационные запасы которых утверждены в Государственной или территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых.

2.4.2. Основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод

Как отмечалось выше, в последние десятилетия в ряде стран были выполнены значительные исследования по региональной оценке и картированию естественных ресурсов подземных вод и подземного стока отдельных крупных регионов. В результате этих исследований были составлены и опубликованы карты подземного стока различного масштаба, среди которых в первую очередь следует назвать карты подземного стока территории СССР масштаба 1:5000000 (1964 г.) и масштаба 1:2500000 (1977), карту подземного стока Центральной и Восточной Европы масштаба 1:1500000 (1982), карту гидрогеологических условий и подземного стока суши Земного шара масштаба 1:10000000 (1999). По некоторым артезианским бассейнам и гидрогеологическим структурам составлены карты более крупного масштаба. Анализ имеющихся карт разного масштаба по территории бывшего Советского Союза и некоторых сопредельных стран, позволяет установить основные закономерности формирования и распределения естественных ресурсов подземных вод (подземного стока) в разнообразных природно-климатических и геолого-гидрогеологических условиях (Куделин, 1960; Зекцер, 1977; Всеволожский, 1983; Подземный сток на территории СССР, 1982; Джамалов, 1973; Лебедева, 1972 и др.).

Многолетними работами отечественных ученых (В.А. Всеволожский, Р.Г. Джамалов, И.В. Зеленин, И.С. Зекцер, В.М. Шестопалов, В.П. Карпова, Н.А. Лебедева, И.Ф. Фиделли, Б.И. Писарский, О.В. Попов, Н.С. Ратнер, А.П. Лавров, В.И. Клименко, Б.Л. Соколов и др.) установлено, что распределение основных количественных характеристик естественных ресурсов подземных вод по территории регионов отличается резкой неоднород-

ностью и четко выраженной дифференцированностью по основным геологоструктурным элементам и ландшафтно-климатическим зонам. Наиболее общей закономерностью является различный характер распределения параметров подземного стока в пределах платформенных (равнинных) территорий и горноскладчатых сооружений при диапазоне изменения величин среднемноголетних модулей соответственно от менее 0,1 до 6,0–6,8 л/с и от 0,1 до 30–50 л/с·км^2. На территории бывшего СССР более 55% общего объема подземного стока формируется в пределах горноскладчатых областей, около 42% отвечает обширным пространствам плит (Русской, Западно-Сибирской, Туранской) и только 3–4% общей величины подземного стока приходится на долю кристаллических щитов. Распределение водных ресурсов по наиболее крупным геолого-структурным и гидрогеологическим районам бывшего СССР показано в таблице 2.4.2.1.

Таблица 2.4.2.1

Распределение водных ресурсов в наиболее крупных районах бывшего СССР

Район	Площадь, тыс. км^2	Ресурсы, км^3/год		
		поверхностных вод (общий речной сток)	подземных вод (подземный сток)	соотношение подземных и поверхностных вод
Русская плита	4060	719	170,0	0,24
Кавказ	264	92	45,7	0,50
Уральская гидрогеологическая складчатая область	462	79	25,4	0,32
Западно-Сибирская артезианская область	2919	583	136,9	0,23
Сибирская плита	3500	738	108,9	0,15
Центрально-Казахстанская гидрогеологическая складчатая область	938	67	65	0,16
Верхояно-Чукотская гидрогеологическая область	2420	538	65	0,12

Анализ распределения величин подземного стока по основным ландшафтно-климатическим зонам показывает, что более 80% общего объема подземного стока приурочено к избыточно увлажненной и влажной зонам, около 18% стока формируется в зоне недостаточного увлажнения и лишь около 2% – в засушливой зоне.

На территории континентальных платформ характерно закономерное распределение параметров подземного стока в соответствии с общеширотным воздействием климатических факторов. На фоне широтного распределения наиболее резко проявляются местные изменения величин подземного стока, определяемые гидрогеологическим строением разреза зоны интенсивного водообмена и типами геофильтрационной среды. Так, максимальные величины модулей подземного стока характерны для участков интенсивного развития карста и для районов, где верхняя часть разреза представлена крупнообломочными или песчаными флювиогляциальными и конечно-моренными отложениями, а также для речных долин, сложенных хорошо проницаемыми аллювиальными отложениями. Минимальные значения модулей подземного стока отмечены для районов, где зона интенсивного водообмена представлена суглинистыми и глинистыми породами, и для относительно пониженных слаборасчлененных территорий, где развитые сверху слабопроницаемые породы затрудняют инфильтрацию атмосферных осадков.

В горноскладчатых областях распределение величин подземного стока определяется главным образом резкими изменениями типа геофильтрационных сред и орографическим увеличением осадков с высотой местности. Так, высокие значения модулей подземного стока на Кавказе, Карпатах, Балканах обусловлены широким распространением проницаемых трещиноватых пород в собственно горноскладчатых сооружениях и высокопроницаемых крупнообломочных отложений в межгорных впадинах, что в сочетании с глубокой эрозионной расчле-

ненностью рельефа и значительным количеством атмосферных осадков определяет благоприятные условия питания подземных вод (Фиделли, 1980).

Роль подземных вод в формировании водного баланса и водных ресурсов регионов количественно характеризуется значениями коэффициентов подземного стока и коэффициентов подземного питания рек.

Коэффициент подземного стока представляет собой соотношение подземного стока к атмосферным осадкам. Он показывает, какая часть атмосферных осадков (обычно в процентах) расходуется на питание подземных вод. Этот коэффициент в пределах территории бывшего СССР составляет в среднем 9% и изменяется от 1% и менее до 50% и более. Основные особенности распределения коэффициентов подземного стока определяются влиянием сложного комплекса природных факторов, первостепенное значение среди которых имеют соотношение атмосферных осадков и испарения, состав и мощность пород зоны аэрации.

Для равнинной территории как общая закономерность прослеживается широтная зональность – уменьшение коэффициентов подземного стока с северо-запада на юго-восток с 10–20% в зоне избыточного увлажнения до 1% и менее в степных и полупустынных районах (рис. 2.4.2.1). В ряде районов эта закономерность "нарушается" аномалиями – главным образом увеличением значений коэффициентов подземного стока.

В первую очередь это наблюдается на возвышенностях, что обусловлено обилием выпадающих здесь атмосферных осадков и улучшением условий их инфильтрации (Валдайская, Средне-Русская, Приволжская возвышенности, Енисейский кряж, Северо-Байкальское нагорье и др.). В горных районах одновременно с увеличением количества атмосферных осадков с высотой местности возрастают (до определенных пределов) и коэффициенты подземного стока. Так, в Карпатах они возрастают от

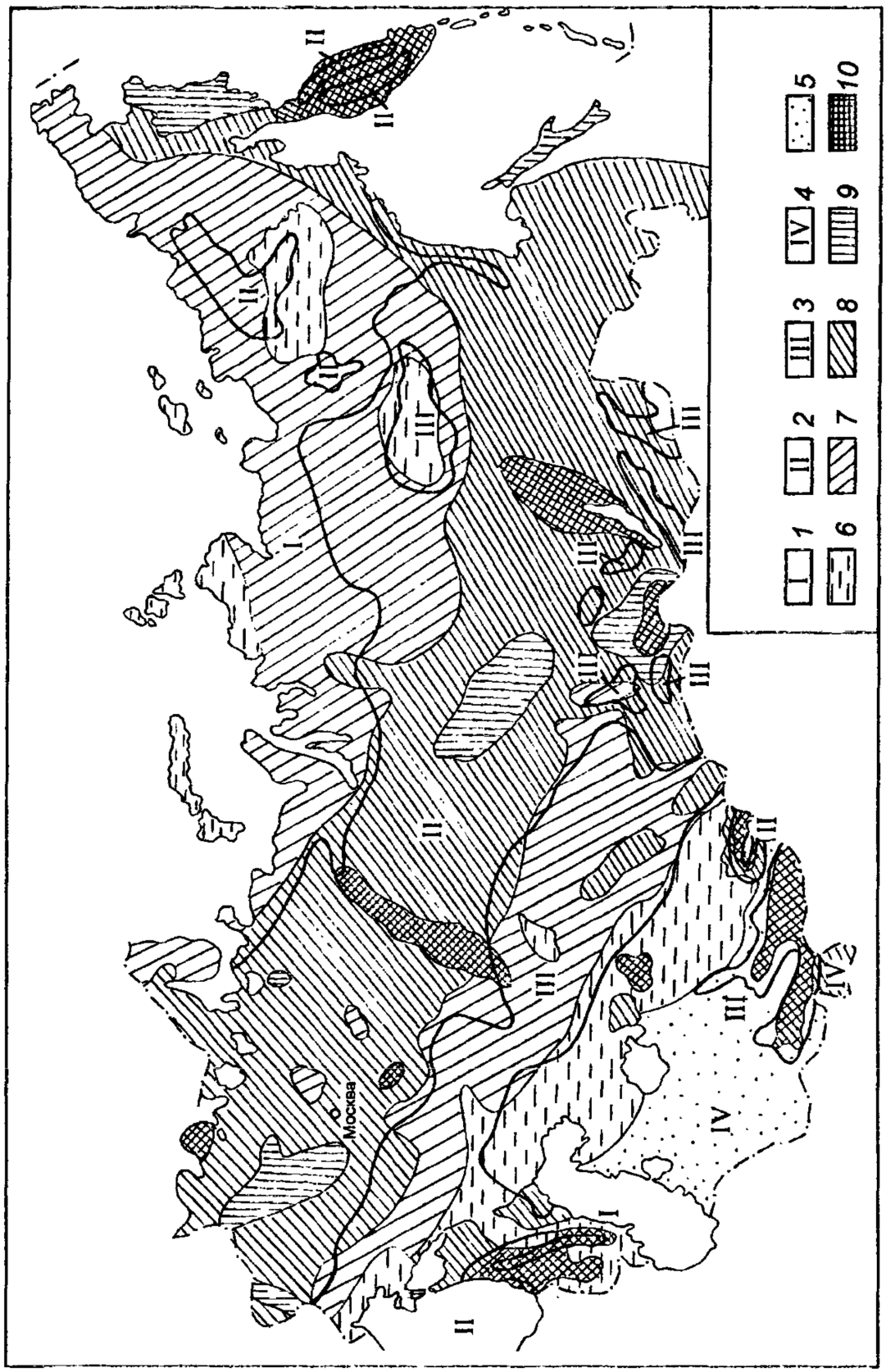


Рис. 2.4.2.1. Схематическая карта связи подземного стока с природно-климатическими зонами

Природно-климатические зоны: *1* – избыточно-влажная; *2* – влажная; *3* – недостаточно-влажная; *4* – сухая. Коэффициент подземного стока, %: *5* – <1, *6* – 1–3, *7* – 3–5, *8* – 5–10, *9* – 10–20, *10* – 20–50

5 до 10–15%, на Урале – от 10 до 20–40, на Алтае – от 5–10 до 15–20%. На Кавказе и в горах Средней Азии увеличение коэффициентов подземного стока (до 25–35%) проявляется наиболее отчетливо.

В районах развития карста также высоки значения коэффициентов подземного стока (до 30–40% и более на Силурийском плато, на Онего-Северо-Двинском междуречье, Кулойском плато, Тимане).

Роль многолетней мерзлоты в распределении коэффициентов подземного стока очень заметна. На огромных пространствах Сибири и северо-востока России, где выпадает до 300–400, а местами до 500–600 мм атмосферных осадков, коэффициенты подземного стока весьма незначительны – 5%, и только на юге Сибири (Северное Прибайкалье и отроги Верхоянского хребта), где многолетняя мерзлота приобретает островной характер, а годовое количество осадков увеличивается до 800 мм, коэффициенты подземного стока достигают 15–20% и более.

Важной характеристикой являются значения коэффициентов подземного питания рек, которые показывают долю подземного стока в общем речном стоке и позволяют определить, таким образом, соотношение ресурсов подземных и поверхностных вод во многих районах гумидной зоны.

В среднем коэффициент подземного питания рек составляет 24%, изменяясь от 5–10% в районах с относительно небольшой мощностью зоны интенсивного водообмена, слабо расчлененным рельефом и благоприятными условиями образования поверхностного стока, до 40–50% и более в районах, сложенных весьма водообильными породами, интенсивно дренируемыми реками.

Анализ соотношений подземного стока и общего речного стока приобрел большое практическое значение в проблеме комплексного использования водных ресурсов, в частности, при

составлении водохозяйственных балансов отдельных регионов и оценке влияния эксплуатации подземных вод на речной сток.

2.4.3. Эксплуатационные ресурсы подземных вод

Рассмотрим наиболее подробно современное состояние и перспективы использования ресурсов подземных вод в России.

По территории Российской Федерации (ранее по территории бывшего СССР), начиная с 1979 г. ежегодно в рамках работ по ведению Государственного водного кадастра осуществляется обобщение информации об эксплуатационных запасах подземных вод, их качестве и использовании. Эти работы входят в состав государственного мониторинга состояния недр России, а их результаты представляются в виде ежегодных информационных бюллетеней. Приводимые далее сведения по эксплуатационным запасам и использованию подземных вод заимствованы из информационного бюллетеня за 2000 г., составленного Госцентром "Геомониторинг".

Прогнозные ресурсы пресных и слабосолоноватых (до 3 г/л) подземных вод России составляют 867,8 млн. $м^3$/сут. Около 72% этих ресурсов сосредоточены в Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском, Дальневосточном и Северном экономических районах. Разведанные и утвержденные эксплуатационные запасы подземных вод на 01.01.2001 г. составляют 86 млн. $м^3$/сут, т.е. в среднем по стране около 10% от прогнозных ресурсов. Наиболее высокая степень разведанности прогнозных ресурсов наблюдается в Калининградской области, Северо-Кавказском и Центральном экономических районах, наименьшая – на севере и на северо-западе страны, а также в Сибири и на Дальнем Востоке. Степень использования прогнозных ресурсов подземных вод в целом по стране составляет около 3%, достигая 26% в Калининградской области.

В настоящее время на территории Российской Федерации разведаны 4002 месторождения подземных вод, из которых 1792 находятся в эксплуатации. Распределение разведанных и утвержденных запасов подземных вод по территории России в сопоставлении с существующим их отбором показано в таблице 2.4.3.1. Отбор подземных вод в 1999 г. составил 33,9 млн. м^3/сут, в том числе на участках с утвержденными запасами – 14,9 млн. м^3/сут. Использование подземных вод составляет 83% от общего отбора, т.е. примерно 28,1 млн. м^3/сут; остальная часть отбираемой воды (главным образом шахтный и карьерный водоотлив) практически полностью сбрасываются без использования.

Из общего количества откачиваемой и используемой подземной воды (28,1 млн. м^3/сут) около 76% расходуется на хозяйственно-питьевое водоснабжение, 22% – на производственно-техническое водоснабжение и 2% – на орошение земель и обводнение пастбищ (рис. 2.4.3.1).

Как видно из приведенных данных, отбор подземных вод более чем в 2 раза меньше, чем запасы, подготовленные для ис-

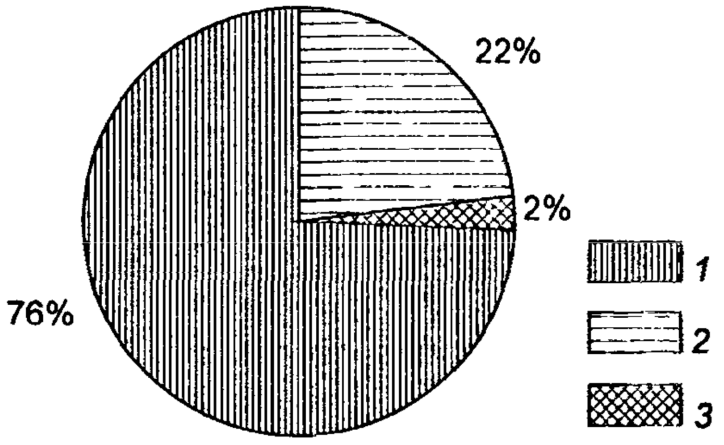


Рис. 2.4.3.1. Использование подземных вод в 1999 г. (по данным Государственного водного кадастра, 2000 г.)

1 – хозяйственно-питьевое водоснабжение; *2* – производственно-техническое водоснабжение; *3* – орошение земель и обводнение пастбищ

Таблица 2.4.3.1

Отбор подземных вод и их использование, тыс. м³/сут, на 01.01.2001 г.

Экономический район	Отбор подземных вод		Использование подземных вод				Сброс без использования
	Всего	в т.ч. шахтный водоотлив	Всего	ХПВ	ПТВ	ОРЗ и ОП	
Северный	954	541	419	318	101	–	536
Северо-Западный	770	245	525	406	119	0	245
Центральный	7095	258	6660	4919	1711	30	435
Волго-Вятский	1317	50	1130	895	217	18	187
Центрально-Черноземный	3302	430	3096	2438	656	2	207
Поволжский	2685	57	2242	1790	431	22	442
Северо-Кавказский	3829	203	3260	2796	422	42	569
Уральский	5071	1054	3805	3100	690	15	1266
Западно-Сибирский	4223	897	3388	2224	825	339	835
Восточно-Сибирский	3043	671	2345	1631	601	114	698
Дальневосточный	1440	235	1101	792	308	1	339
Калининградская обл.	190	37	153	110	43	–	37
Всего по России	**33919**	**4678**	**28124**	**21419**	**6124**	**583**	**5796**

ХПВ – хозяйственно-питьевое водоснабжение, ПТВ – производственно-техническое водоснабжение, ОРЗ и ОП – орошение земель и обводнение пастбищ). По данным Государственного водного кадастра.

пользования, что свидетельствует о значительных перспективах увеличения отбора подземных вод для различных целей.

В настоящее время необходимость интенсификации использования подземных вод для повышения надежности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населения России является общепризнанной. В Федеральной целевой программе "Обеспечение населения России питьевой водой" предусмотрено значительное увеличение отбора и использования подземных вод.

Анализ использования подземных вод на территории бывшего СССР позволяет сделать вывод, что в последние несколько десятилетий произошло существенное увеличение их отбора для коммунальных нужд. Если в начале 50-х годов отбор подземных вод для этих целей составлял около 10–15% общего потребления поверхностных и подземных вод, то к середине 60-х он увеличился до 44, а в начале 90-х годов составлял около 53%. В период с 1980 по 1989 г. на территории России использование подземных вод для коммунального, сельскохозяйственного и технического водоснабжения увеличилось в 1,5 раза.

Следует отметить, что в последние несколько лет отбор подземных вод, прежде всего на участках с утвержденными запасами, несколько сократился, что связано в основном с причинами экономического характера – закрытие или сокращение промышленных и сельскохозяйственных производств, эксплуатирующих подземные воды, и недостаточность ассигнований на водохозяйственные нужды. В ряде регионов освоение подземных вод сдерживается неправильной стратегией водохозяйственных организаций, предпочитающих использовать для хозяйственно-питьевого водоснабжения поверхностные воды даже в районах с утвержденными эксплуатационными запасами защищенных от загрязнения подземных вод. Уменьшилось и использование подземных вод (в 1999 г. почти на 6% по сравнению с 1998 г.), в том числе на хозяйственно-питьевое водоснабжение, что обуслов-

лено также принимаемыми мерами по экономии воды. Однако, общая структура целевого использования подземных вод осталась практически без изменений (см. рис. 2.4.3.1).

На территории Российской Федерации подземные воды эксплуатируются достаточно неравномерно. Наиболее широко они используются в Брянской, Владимирской, Тверской, Калужской, Орловской, Смоленской, Тульской областях, республиках Марий-Эл и Мордовия, Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Тамбовской областях, Краснодарском крае, Кабардино-Балкарской, Чеченской, Ингушской и Северо-Осетинской республиках, Оренбургской области, Башкортостане, Алтайском крае и республике Горный Алтай, Томской, Читинской областях, Красноярском крае, республике Бурятия, Амурской, Камчатской и Сахалинской областях. Во всех этих регионах доля подземных вод составляет от 70 до 100% общего использования водных ресурсов. Слабо используются подземные воды в Новгородской, Архангельской, Мурманской, Костромской, Ярославской, Астраханской, Омской областях, в республике Карелия, где их удельный вес составляет от 3 до 20%.

В настоящее время более 60% городов Российской Федерации имеют централизованные подземные источники водоснабжения (табл. 2.4.3.2). Рассмотрим подробнее структуру хозяйственно-питьевого водоснабжения наиболее крупных городов России (с населением больше 250 тыс. человек). Водоснабжение 34 из этих 77 городов (44%) осуществляется преимущественно за счет поверхностных вод (больше 90%), 24 города (31%) удовлетворяют потребности в питьевой воде в основном (>90%) подземными водами. Остальные 19 городов (25%) имеют смешанные источники водоснабжения.

Неравномерное использование пресных подземных вод на территории Российской Федерации связано прежде всего с особенностями гидролого-гидрогеологических условий, определяющих величину прогнозных эксплуатационных запасов подзем-

Таблица 2.4.3.2

Структура водоснабжения (%) городов с различной численностью населения (Язвин, Зекцер, 1996)

Источник водоснабжения	Численность населения					
	<50 тыс.	51–100 тыс.	101–250 тыс.	251–500 тыс.	500 тыс.– 1 млн.	>1 млн.
Преимущественно подземные воды (>90%)	74	57	46	37	3	0
Преимущественно поверхностные воды (>90%)	15	21	24	37	39	82
Смешанные воды	11	22	30	26	28	18

ных вод и возможности их восполнения как в естественных, так в нарушенных условиях.

Ранее выполненные региональные оценки показывают, что на территории бывшего Советского Союза наиболее значительные эксплуатационные ресурсы подземных вод сосредоточены в артезианских бассейнах платформенного типа и складчатых областях. Значительные месторождения подземных вод характерны для межгорных впадин и предгорных прогибов, отличающихся благоприятными условиями накопления подземных вод. Модули эксплуатационных ресурсов в этих районах достигают 10 л/с·км^2 и более, а дебиты отдельных водозаборов превышают несколько кубических метров в секунду (Араратский, Чуйский, Иссык-Кульский бассейны, Ферганская долина, межгорные впадины Тянь-Шаня и др.). Потребности городского и сельского населения в этих районах полностью обеспечиваются подземными водами, которые в значительной степени используются и могут быть использованы в будущем для орошения.

Благоприятные природные условия формирования подземных вод отмечаются в таких артезианских бассейнах платформ, как Московский, Днепрово-Донецкий, Западно-Сибирский и др.,

где модули эксплуатационных ресурсов составляют от 1–2 до 3–5 л/с·км^2, а дебиты групповых водозаборов измеряются сотнями литров в секунду, в долинах рек – до 1 м^3/с. Большая часть городов и поселков удовлетворяет потребность в хозяйственно-питьевой воде за счет подземных вод.

В пределах территории самыми неблагоприятными гидрогеологическими условиями характеризуются Балтийский, Украинский и Донецкий кристаллические щиты, некоторые районы Северного и Южного Урала, Сибири, Крайнего Севера, Дальнего Востока, Центрального Казахстана и некоторые другие. Здесь модули эксплуатационных ресурсов обычно не превышают 0,1–0,2 л/с, лишь на отдельных более обводненных участках они могут достигать 1–2 л/с. Подземные воды используются здесь в основном для водоснабжения сельского населения и небольших городов.

В целом перспективы использования подземных вод в Российской Федерации в первую очередь для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, можно рассматривать весьма оптимистично. Как показали проведенные оценки, Россия обладает значительными прогнозными ресурсами подземных вод, общая величина которых составляют около 300 км^3/год. Эксплуатационные запасы разведанных месторождений составляют порядка 30 км^3/год, из которых около 20 км^3/год подготовлено для промышленного освоения. В то же время общий отбор подземных вод не превышает 14 км^3/год, в том числе около 2 км^3/год приходится на шахтный и карьерный водоотлив. На хозяйственно-питьевое водоснабжение расходуется около 8,9 км^3/год, на производственно-техническое водоснабжение – 2,2 км^3/год и на орошение земель – 0,4 км^3/год.

Из приведенных цифр видно, что отбор подземных вод может быть существенно увеличен, что и предусмотрено Федеральной целевой программой “Обеспечение населения России питьевой водой”.

Следует подчеркнуть, что отбор подземных вод на участках с утвержденными запасами составляет менее половины общего отбора этих вод в связи с тем, что эксплуатация подземных вод одиночными скважинами и небольшими водозаборами не требует утверждения запасов. Кроме того, ряд водозаборов вопреки существующим требованиям работает на неутвержденных запасах подземных вод (табл. 2.4.3.3).

Характеризуя современную ситуацию с отбором подземных вод, следует отметить, что в России могут быть выделены две группы систем водозаборов подземных вод для коммунального водоснабжения: непосредственно в пределах городских территорий (во многих случаях рассредоточенные) и вынесенные за пределы городов централизованные водозаборы (Кочетков, Язвин, 1992; Зекцер и др., 1993).

Таблица 2.4.3.3

Эксплуатационные запасы и отбор подземных вод по экономическим районам на 01.01.2000 г., млн. м³/сут

Экономический район	Прогнозные ресурсы	Разведанные ресурсы		Отбор подземных вод	
		Всего	в т.ч. подготовленные к промышленному освоению	Всего	в т.ч. на участках с утвержденнымн запасами
Северный	89,4	2,3	1,3	1,0	0,2
Северо-Западный	27,7	1,3	1,0	0,8	0,2
Центральный	50,1	19,0	13,0	7,1	3,5
Волго-Вятскнй	23,3	4,3	2,1	1,3	0,5
Центрально-Черноземный	24,0	6,6	5,2	3,3	2,0
Поволжский	30,3	6,8	3,4	2,7	0,6
Северо-Кавказский	34,8	13,7	8,8	3,8	2,1
Уральский	47,9	7,9	5,5	5,1	2,2
Западно-Сибирский	263,4	10,0	5,5	4,2	1,3
Восточно-Сибирский	117,2	7,3	5,1	3,0	1,5
Дальневосточный	159,3	6,3	3,4	1,4	0,7
Калининградская область	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1
Всего по России	**868,0**	**86,0**	**54,7**	**33,9**	**14,9**

Первая группа включает в себя в основном неупорядоченные системы одиночных и небольших концентрированных водозаборов из нескольких эксплуатационных скважин, стихийно развивающихся на городских территориях одновременно с развитием городов. Частично эти системы бывают закольцованы, частично решают проблему водоснабжения промышленных предприятий или отдельных жилых районов. В большинстве случаев эти водозаборы сооружены без специального гидрогеологического обоснования. Основные проблемы эксплуатации водозаборов этой группы связаны иногда с практической невозможностью создания вокруг них зон санитарной охраны и с загрязнением из-за этого подземных вод. Вторая группа в зависимости от особенностей гидрогеологических условий и масштаба водопотребления включает в себя как крупные централизованные водозаборы производительностью в десятки тысяч кубометров в сутки, на базе которых могут быть комплексно решены вопросы водоснабжения крупных городов или нескольких небольших городов, так и системы относительно небольших водозаборов. Эти водозаборы обычно удалены от водопотребителя на значительные расстояния, достигающие в настоящее время 150–200 км и более. Такие водозаборы проектировались и сооружались на базе специализированных поисково-разведочных работ, подсчитанные во время их проведения эксплуатационные запасы подземных вод были утверждены в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых. Эти водозаборы часто имеют существенные преимущества в технико-экономическом отношении и характеризуются более высоким качеством подземных вод, а главное, лучшими условиями защищенности от загрязнения. Будущее несомненно за водозаборами этой группы.

При оценке перспектив использования подземных вод следует учитывать, что их эксплуатационные ресурсы распределены по площади крайне неравномерно. Так, в Северном эконо-

мическом районе весьма слабо обеспечены подземными водами Мурманская область и Республика Карелия, расположенные на территории Балтийского бассейна трещинных вод. Несмотря на благоприятные условия питания подземных вод прогнозные эксплуатационные ресурсы невелики, что связано с весьма слабыми фильтрационными свойствами водовмещающих кристаллических пород. Невысокими фильтрационными свойствами характеризуется и Вологодская область, а в западной и юго-западной частях Архангельской области для подземных вод характерна повышенная минерализация. Наиболее благоприятные условия типичны для центральной части Архангельской области, где в междуречье Онеги и Северной Двины развиты водообильные трещиноватые известняки и доломиты каменноугольного возраста, а также для территории Республики Коми.

Разнообразными и в целом недостаточно благоприятными условиями использования подземных вод для питьевого водоснабжения характеризуется и Северо-Западный экономический район, особенно территория Новгородской и большей части Ленинградской областей. Однако и в этом районе имеются значительные площади, где отмечаются весьма благоприятные гидрогеологические условия (район Силурийского плато в Ленинградской области, где водовмещающими породами являются закарстованные и трещиноватые известняки).

Центральный экономический район характеризуется значительными прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод. На его территории в карбонатных отложениях каменноугольного и девонского возраста формируются крупные месторождения подземных вод, на базе которых организовано водоснабжение многих городов и населенных пунктов (Брянская, Владимирская, Тверская, Калужская, Московская, Орловская, Рязанская, Смоленская и Тульская области). В менее благоприятных условиях находятся северная и восточная части Центрального экономического района (Ярославская, ряд районов

Тверской, Ивановская и Костромская области). Так, прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод в Ярославской и Костромской областях составляют всего по 0,35 км^3/год, поэтому организация крупного централизованного водоснабжения за счет их использования крайне затруднительна.

Сравнительно небольшие прогнозные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод формируются в Волго-Вятском экономическом районе. Большая часть района расположена в пределах Восточно-Русского артезианского бассейна, где основные водоносные горизонты часто характеризуются незначительной водообильностью или повышенной минерализацией подземных вод. Вместе с тем, отдельные районы рассматриваемой территории весьма перспективны для поиска даже крупных месторождений подземных вод (междуречье Теши и Мокши в Нижегородской области, Мордовский артезианский бассейн, Кировское месторождение в долине р. Быстрицы и др.).

Для Центрально-Черноземного экономического района характерны благоприятные условия по обеспечению подземными водами потребностей хозяйственно-питьевого водоснабжения. В этом районе практически все водоснабжение городского и сельского населения базируется на использовании подземных вод.

Разнообразными гидрогеологическими условиями характеризуется территория Северо-Кавказского экономического района. Наряду с районами, обладающими значительными запасами подземных вод и расположенными на территории Азово-Кубанского, Восточно-Предкавказского артезианского бассейнов, в предгорных долинах Большого Кавказа (Краснодарский край, восточная часть Ставропольского края, западная часть Республики Дагестан, Чеченская республика, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия), отмечаются районы, характеризующиеся неблагоприятными условиями обеспечения подземными водами (большая часть Ростовской области, западная и центральная части Ставропольского края, восток Дагестана).

Однако и в этих районах могут быть выявлены отдельные участки, перспективные для централизованного водоснабжения с использованием подземных вод.

Сложными и в целом недостаточно благоприятными условиями характеризуется Поволжский экономический район, расположенный в пределах Восточно-Русского и Каспийского артезианского бассейнов. Здесь наиболее крупные месторождения подземных вод формируются в береговых зонах рек и водохранилищ, что позволяет создавать достаточно мощные водозаборы, но эксплуатируемые водоносные горизонты слабо защищены от загрязнения. В наиболее тяжелых условиях находится территория Астраханской области и Калмыкии, где крупное централизованное водоснабжение за счет пресных подземных вод по существу невозможно. Эти области отличаются и наименьшими прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод, и незначительной долей подземных вод в современном хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Весьма сложные и недостаточно благоприятные условия обеспечения потребностей хозяйственно-питьевого водоснабжения подземными водами отмечаются также в Уральском экономическом районе, хотя здесь их удельный вес сравнительно высок. Наиболее интенсивно используются подземные воды в Предуралье (Оренбургская область, Башкортостан), где в долинах рек Урала, Самары, Белой, Уфы эксплуатируются водоносные горизонты четвертичных отложений. Эксплуатационные запасы подземных вод в этих условиях формируются главным образом путем привлечения поверхностного стока, в связи с чем эксплуатируемые водоносные горизонты очень слабо защищены от загрязнения (в качестве примера можно указать на Южный водозабор г. Уфы, где неоднократно отмечались случаи загрязнения подземных вод фенолом). В пределах Уральской гидрогеологической зоны (Свердловская и Челябинская области) наибольшее значение имеют подземные воды ограниченных струк-

тур в межгорных депрессиях, представленных трещиноватыми и закарстованными известняками, особенно при наличии в пределах этих структур поверхностного стока. Наиболее тяжелые условия обеспечения подземными водами отмечаются в Курганской области, где в основном развиты минерализованные воды.

Западно-Сибирский экономический район расположен в пределах крупного одноименного артезианского бассейна, на территории которого формируются значительные запасы подземных вод. Однако по территории района эти запасы распределены неравномерно. В наименее благоприятных условиях находятся Омская и южная часть Тюменской областей, где развиты главным образом минерализованные воды.

Восточно-Сибирский экономический район в основном находится в зоне развития многолетнемерзлых пород, мощность которых на севере достигает >600 м. В связи с этим наиболее благоприятные условия использования подземных вод в этом районе отмечаются в долинах рек и озер, в таликовых зонах. В целом на территории Восточно-Сибирского экономического района подземные воды – основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения (Красноярский край, Читинская область, Республики Тува и Бурятия) и только в Иркутской области доминируют поверхностные воды.

Разной обеспеченностью подземными водами характеризуется территория Дальневосточного экономического района. Относительно богаты ими Камчатская и Сахалинская области, Хабаровский край, Амурская область. Наиболее благоприятны в этом отношении сложенная аллювиальными отложениями долина р. Амур, а также межгорные артезианские бассейны в Амурско-Зейской и Сихотэ-Алинской гидрогеологических областях.

Неблагоприятными условиями использования подземных вод характеризуются территории Республики Якутия-Саха, Магадан-

ской области и Чукотского автономного округа, расположенные в зоне развития многолетнемерзлых пород.

Сравнительно бедна подземными водами Калининградская область, где прогнозные эксплуатационные ресурсы составляют всего 0,21 км^3/год.

Анализируя перспективы использования пресных подземных вод на территории России, необходимо хотя бы в общих чертах коснуться важнейшей проблемы водоснабжения населения – прогноза использования ресурсов пресных подземных вод на весьма отдаленную перспективу. Проблема эта очень сложная и до настоящего времени находится практически на начальной стадии исследования. Сложность ее решения связана прежде всего с неразработанностью методических основ сверхдолгосрочного прогнозирования в этой области, отсутствием данных о тенденциях развития отдельных отраслей промышленности, сельского хозяйства, новых крупных промышленных комплексов, городов и других объектов водоснабжения, отсутствием научно обоснованных норм потребления и требований к качеству экологически чистых и биологически полноценных вод.

К середине XXI столетия на изменение эксплуатационных ресурсов подземных вод будет оказывать влияние множество различных факторов, связанных прежде всего с хозяйственной деятельностью человека. Рассмотрим кратко основные факторы, которые приводят как к уменьшению, так и к увеличению эксплуатационных ресурсов подземных вод. Среди них наиболее существенны интенсивный отбор подземных вод, гидротехническое строительство, разработка месторождений полезных ископаемых, загрязнение подземных вод, искусственное восполнение их запасов, природоохранные ограничения и др.

Как было уже сказано, примерно половину оцененных прогнозных ресурсов подземных вод России составляют невосполняемые запасы, срабатываемые в течение 50 лет. Таким образом, если допустить, что в течение последующих 50 лет общий

отбор подземных вод увеличится в полтора–два раза (что на современном этапе развития страны представляется малореальным) и составит ~25–30 км^3/год, то можно предположить, что общие эксплуатационные ресурсы подземных вод России в результате отбора невосполняемых запасов уменьшатся примерно на 12–15 км^3/год.

Около половины крупных водозаборов подземных вод расположено в долинах рек, где запасы подземных вод обеспечиваются главным образом за счет фильтрации из рек. Регулирование поверхностного стока водохранилищами приводит к изменению режима речного стока, что в свою очередь изменяет режим питания водоносных горизонтов в речных долинах. Это приводит прежде всего к сокращению питания подземных вод береговых водозаборов за счет сокращения продолжительности и интенсивности паводков.

Вместе с тем строительство водохранилищ и ряд других водохозяйственных мероприятий (строительство каналов, интенсификация орошения) – положительный фактор, вызывающий увеличение эксплуатационных ресурсов подземных вод за счет увеличения мощности водоносных горизонтов и усиления их питания при фильтрации из каналов, подпоре и инфильтрации из водохранилищ (если при этом не происходит загрязнение подземных вод).

Как отмечалось выше, значительное количество подземной воды, откачиваемой при разработке месторождений полезных ископаемых и при защите подтопляемых территорий при ирригационном и гидротехническом строительстве, практически не используется и бесцельно сбрасывается в поверхностные водотоки. Эта вода безусловно может и должна быть использована в различных целях, если необходимо – после соответствующей очистки.

Уменьшение эксплуатационных запасов подземных вод может быть связано также с их прогрессирующим загрязнением.

Ограничения в использовании подземных вод будут связаны также с необходимостью соблюдения допустимых норм воздействия их отбора на другие компоненты природной среды.

Важный фактор увеличения эксплуатационных возможностей водоносных горизонтов – искусственное пополнение подземных вод, с помощью которого можно регулировать сработку их емкостных запасов. Мероприятия по искусственному пополнению в первую очередь должны быть проведены в районах действующих водозаборов, если для этого есть соответствующие условия. Сюда же следует отнести и искусственное создание линз пресных вод в пустынных районах.

Весьма важно совершенствовать способы и технические средства добычи подземных вод. Как известно, оценка эксплуатационных запасов подземных вод в настоящее время выполнена с учетом современных средств их добычи. Несомненно, будут разработаны новые виды насосного оборудования и конструкции скважин с повышенной производительностью, которые позволят дешево отбирать воду с глубин ~400–500 м. Это позволит эксплуатировать глубокие водоносные горизонты, ресурсы подземных вод которых в настоящее время не учитываются.

Существенный резерв водообеспечения – солоноватые и соленые подземные воды, которые могут использоваться в смеси с пресными водами или после их искусственного опреснения. В южных районах страны ресурсы таких вод часто сопоставимы с ресурсами пресных подземных вод. Можно считать, что при разработке более дешевых технологий опреснения подземных вод и совершенствовании методов их отбора доля таких вод в общем водопотреблении значительно возрастет.

В последние годы большинство климатологов достаточно уверено прогнозируют потепление климата в связи с увеличением концентрации CO_2 в атмосфере в результате интенсивной хозяйственной деятельности. Прогнозируемые антропогенные трансформации климата безусловно скажутся на подземных во-

дах. Предварительные результаты исследований показывают, что изменения ресурсов подземных вод будут происходить по-разному в различных районах страны. Так, в южных частях европейской территории России возможно снижение питания подземных вод, и следовательно, величины их естественных ресурсов, а в северных – наоборот (Ковалевский, 1993). Однако, надо еще раз подчеркнуть, что методология прогноза изменений ресурсов подземных вод под влиянием возможных изменений климата, как и вообще методология долгосрочного прогнозирования изменений природных процессов, до настоящего времени находится на начальной стадии разработки. Разработка соответствующих методик прогноза – одна из важных задач гидрогеологической науки.

Как следует из вышеизложенного, воздействие различных антропогенных факторов на ресурсы подземных вод может быть как положительным, так и отрицательным. Вместе с тем с большой степенью уверенности можно предположить, что при научно обоснованном управлении использованием подземных вод, включая их искусственное восполнение, а также при осуществлении ряда мероприятий по борьбе с их загрязнением, общая величина прогнозных эксплуатационных ресурсов в целом по стране будет достаточной для удовлетворения потребностей в подземной воде хозяйственно-питьевого назначения даже на самую отдаленную перспективу.

2.4.4. Эколого-гидрогеологические проблемы использования подземных вод для водоснабжения г. Москвы

В качестве примера предполагаемого крупного отбора подземных вод и связанных с этим природоохранных ограничений рассмотрим проблемы водоснабжения г. Москвы.

Как отмечалось выше, пресные подземные воды широко используются для водоснабжения городского населения России. Питьевое водоснабжение большинства небольших городов с населением менее 100 тыс. человек в каждом почти полностью основано на подземных водах. Третья часть крупных городов с населением свыше 250 тыс. человек, использует для питьевого водоснабжения исключительно подземные воды, и еще треть – подземные и поверхностные воды совместно. Однако водоснабжение крупнейших городов России и прежде всего таких многомиллионных городов как Москва и Санкт-Петербург основано почти полностью на поверхностных водах.

До настоящего времени Москва остается одним из немногих крупных городов России, практически не использующих для питьевого водоснабжения подземные воды. Выход из строя водозаборов в связи с возможными аварийными ситуациями приводит к загрязнению поверхностных вод. Поэтому использование защищенных от загрязнения пресных подземных вод напорных водоносных горизонтов должно повысить надежность системы хозяйственно-питьевого водоснабжения города.

Следует отметить, что в последние годы различными правительственными, водохозяйственными и природоохранными организациями России, и в первую очередь Москвы и Московской области, а также ведущими проектными и научными организациями широко обсуждается вопрос о повышении водообеспеченности столицы как в настоящее время, так и на перспективу. Ухудшение качества поверхностных вод, используемых в настоящее время для питьевого водоснабжения, делает эту проблему особенно актуальной. При этом большое внимание уделяется оценке и обоснованию возможностей более широкого привлечения пресных подземных вод Московского региона для обеспечения потребностей населения в воде питьевого качества.

Рассмотрим более подробно ситуацию, связанную с использованием подземных вод для водоснабжения г. Москвы, тем бо-

лее, что экологические аспекты в интенсификации отбора подземных вод в этом районе вызывают тревогу его жителей.

Состав и свойства подземных вод изучены в пределах Московского региона до глубин, составляющих примерно 1500 м. Пресные подземные воды с минерализацией до 1 г/л распространены до глубин в среднем 250–300 м, в отдельных районах до глубин всего 80–100 м. Широкое использование подземных вод в этом регионе началось во второй половине XIX столетия. Сначала скважины бурились только на первый и второй от поверхности водоносные горизонты каменноугольных отложений, а к началу XX века стали эксплуатироваться все основные напорные водоносные горизонты карбона. В связи с ростом отбора подземных вод в области создана специальная наблюдательная сеть скважин на напорные и безнапорные водоносные горизонты. В настоящее время эта сеть включает около 1100 наблюдательных скважин.

Геолого-гидрогеологический разрез территории Московской области представлен двумя гидрогеологическими этажами: нижним, сложенным преимущественно известняками каменноугольного возраста, и вышележащими рыхлыми песчано-глинистыми отложениями мелового и четвертичного возраста. Эти водоносные толщи разделены регионально выдержанным водоупором юрских глин мощностью от 8–10 до 30–40 м, которые в долинах рек часто размыты.

Добыча подземных вод на территории г. Москвы и Московской области началась почти 300 лет назад. Она значительно интенсифицировалась к концу XIX века, когда начали эксплуатироваться пресные подземные воды напорных водоносных горизонтов каменноугольных отложений. В настоящее время в пределах Московского региона и близлежащих территорий на учете находятся более 10000 водозаборных скважин. Для всей территории Московского региона еще в середине 80-х годов была создана постоянная компьютерная геоинформационная модель,

являющаяся прототипом современных геоинформационных систем (ГИС), и позволяющая оценивать взаимодействие водозаборов и региональные изменения гидрологической и гидрогеологической ситуации при изменении величины и режима водоотбора (Н.С. Пашковский, Д.И. Ефремов, Ю.О. Зеегофер). Ее применение позволяет прогнозировать возможные изменения речного стока при увеличении (или уменьшении) отбора подземных вод водозаборами подземных вод приречного типа.

Естественные ресурсы пресных подземных вод основных водоносных горизонтов каменноугольных отложений, характеризующие среднемноголетнюю величину их восполнения, составляют около 100 $м^3/с$ при среднегодовом модуле подземного стока примерно 2 $л/с \cdot км^2$. Учтенный водоотбор подземных вод в среднем составляет примерно 50 $м^3/с$.

В результате длительной интенсивной эксплуатации уровни подземных вод в водоносных горизонтах карбона снижены на десятки метров (до 80–100 м в городах Загорск, Балашиха, Люберцы, Подольск, Химки и др.). Следует подчеркнуть, что интенсивный отбор подземных вод пока не привел к заметным последствиям в ландшафтах и растительности, а также к уменьшению местного речного стока.

По данным Ю.О. Зеегофера с соавторами (1991), примерно 80% водоотбора подземных вод осуществляется городскими водозаборами, в зонах расположения которых в последние годы ухудшилась экологическая обстановка. Эти водозаборы, особенно расположенные в г. Москве и ближайших его окрестностях, работают в условиях постоянного риска загрязнения. Ухудшение качества подземных вод этих водозаборов, особенно в районах, находящихся вблизи г. Москвы, а также высказанные выше соображения о водообеспеченности столицы, вызвало необходимость разработки специальной "Генеральной схемы объединенной системы водоснабжения г. Москвы и Московской области с использованием подземных источников".

Для решения проблемы более широкого использования пресных подземных вод хорошего качества в течение нескольких лет были разведаны 4 крупных месторождения подземных вод, находящихся в радиусе примерно 100–120 км от города. Общий отбор подземных вод в объединенной системе водоснабжения из новых четырех крупных водозаборов предусмотрен в количестве 2,7 млн. $м^3$/сут. При этом общий отбор подземных вод на территории Московского региона не должен превышать величины их естественных ресурсов (питания), которые оценены в 8,7 млн. $м^3$/сут.

При распределении эксплуатационных запасов подземных вод между Москвой и Московской областью приоритет отдан городам Московской области. Потребность области в воде составляет 5 млн. $м^3$/сут. Ее планируется удовлетворить как за счет подземных вод месторождений, не включенных в объединенную систему (3,8 млн. $м^3$/сут), так и месторождений, входящих в эту систему (1,1 млн. $м^3$/сут). Предусматривается, что только после удовлетворения перспективной потребности в подземной воде питьевого качества городов Московской области возможно их использование для водоснабжения самого г. Москвы.

Известно, что требованиями Государственного стандарта России "Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита системы хозяйственно-питьевого водоснабжения", установлено, что водоснабжение средних и крупных городов должно быть основано на не менее, чем двух независимых источниках водоснабжения.

Одним из таких источников должны быть подземные воды, минимальная доля которых в водоснабжении города должна быть достаточной, чтобы иметь возможность обеспечивать бесперебойную подачу питьевой воды населению при отключении поверхностных водоисточников в период их аварийного загрязнения. "Генеральной схемой..." предусматривалось комплексное решение двух важных проблем: водообеспечение подземной во-

дой питьевого качества ряда городов и населенных пунктов Московской области и создание автономного источника резервного водоснабжения столицы на случай непредвиденных природно-техногенных катастроф, исключающих возможность использования подземных вод.

В "Схеме..." обосновывается возможность использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Московского региона. "Схемой..." предусматривается создание объединенной системы водоснабжения, состоящей из четырех систем водозаборов подземных вод (Северной, Южной, Восточной и Западной) с общим отбором подземных вод 2,7 млн. м^3/сут (соответственно 860, 1200, 500 и 140 тыс. м^3/сут). При разработке "Схемы..." авторы исходили из следующих основных принципиальных соображений:

– интенсификация использования подземных вод в Московском регионе является единственным, практически не имеющим альтернатив способом повышения надежности водоснабжения столицы России и близлежащих районов;

– общий отбор подземных вод на территории Московского региона не должен превышать величину их естественных ресурсов, иными словами, не должен быть больше величины их ежегодного естественного восполнения (за многолетний период):

– в первую очередь должна быть удовлетворена потребность в воде питьевого качества городов Московской области (около 5 млн. м^3/сут). Ее планируется удовлетворить как за счет уже существующих разведанных и эксплуатируемых месторождений подземных вод области, не включенных в объединенную систему (3,8 млн. м^3/сут), так и новых месторождений на указанных 4-х участках, включенных в эту систему (1,1 млн. м^3/сут);

– на водоснабжение самого города Москвы будет использоваться только часть запасов подземных вод, которая остается после удовлетворения потребностей в воде Московской области (1,6 млн. м^3/сут).

В процессе оценки перспективных возможностей интенсификации использования подземных вод с помощью математических моделей изучалось взаимодействие между существующими и проектными водозаборами.

Предлагаемые к использованию 2,7 млн. м^3/сут подземных вод рекомендовалось распределить между отдельными системами следующим образом: Северная система – 0,8, Южная система – 1,2, Восточная система – 0,56 и Западная система – 0,14 млн. м^3/сут.

Как указывалось выше, первоначально предполагалось, что производительность водозаборов, входящих в объединенную систему водоснабжения, составит около 2,7 млн. м^3/сут, из которых 1,6 млн. м^3/сут планировалось подавать в Москву. Однако, в последнее время установлено, что дополнительная вода городу не нужна, что вызвано прежде всего осуществляемыми и планируемыми мероприятиями по экономии воды и уменьшению общей потребности в воде в силу ряда причин экономического характера. Поэтому подача подземных вод в Москву в периоды интенсивного загрязнения поверхностных вод может быть ограничена 1,0 млн. м^3/сут (исходя из нормы 100–200 л/сут на 1 человека при численности населения г. Москвы в 8,5 млн. человек).

В настоящее время в качестве первоочередного освоения выбрана южная группа месторождений, основанная на использовании подземных вод каменноугольных водоносных горизонтов в долине р. Оки (район г. Серпухова).

Качество подземных вод на участках, включенных в объединенную систему, в целом соответствует нормам для питьевых вод, установленным в России, за исключением повышенного содержания железа и марганца. Кроме того, на Южной системе отмечается пониженное содержание фтора. Месторождения Северной и Восточной систем надежно защищены от возможного загрязнения, а месторождения Южной и Западной систем

являются слабо защищенными. Выполненные специальные гидродинамические расчеты показывают, что качество подземных вод при эксплуатации изменится незначительно и это не приведет к невозможности их использования для питьевого водоснабжения.

При разработке "Генеральной схемы объединенной системы водоснабжения г. Москвы и Московской области с использованием подземных источников" значительное внимание уделялось прогнозу возможных экологических последствий интенсификации использования подземных вод. В частности, анализировалось влияние снижения уровня в верхнем водоносном горизонте на состояние растительности, ландшафтов, прогнозировалось возможное изменение речного стока (особенно стока малых рек), опасность загрязнения эксплуатируемых водоносных горизонтов за счет миграции загрязнителей при изменении гидродинамических условий взаимодействия подземных и поверхностных вод и отдельных водоносных горизонтов между собой. При этом авторы "Схемы..." правильно подчеркивают, что при прогнозе возможного влияния отбора подземных вод на окружающую среду первостепенное значение имеет анализ опыта эксплуатации действующих водозаборов подземных вод. Как уже отмечалось, многолетняя эксплуатация подземных вод, вызывающая снижение уровней подземных вод в каменноугольных водоносных горизонтах на многие десятки метров, не привела к заметным и опасным негативным экологическим последствиям, за исключением уменьшения меженного стока рек на отдельных участках.

Влияние эксплуатации подземных вод на сток малых рек проявляется двояко: иногда на некоторых реках возникают участки, где поверхностный сток уменьшается (Москва в верховьях, Истра в среднем течении, Пахра, Нерская, Нора и некоторые другие) за счет питания рекой грунтовых водоносных горизонтов и сокращения подземного стока в реки. В других случаях за счет

сброса в реки очищенных отработанных вод, различных стоков, речной сток по сравнению с естественным увеличивается (реки Воря, Торгоша, Пажа). Характерной в этом отношении является р. Клязьма, сток которой выше Ногинска уменьшился по сравнению с естественным, а ниже Ногинска и Электростали – увеличился.

Математическое моделирование, проведенное с учетом сезонного регулирования питания грунтовых водоносных горизонтов, показало, что "ущерб" меженному стоку малых рек составит около 10% в год средней водности и 17–18% в год водности 95% обеспеченности. На отдельных участках рек, где меженный сток рек 95% обеспеченности уменьшится более, чем на 25–30%, потребуется осуществление специальных мероприятий, таких как устройство русловых запруд, подпитывание малых рек в экстремальных ситуациях подземными водами и др.

Следует отметить, что проблема интенсификации использования подземных вод в Московском регионе вызвала небывалый интерес и прежде всего значительное беспокойство у населения и ряда ученых, в частности Пущинского научного центра. Еще ни разу в бывшем Советском Союзе специалисты и просто жители какого-либо региона не обсуждали столь активно экологические проблемы использования подземных вод. Можно назвать две основные причины этого:

– впервые в России планируется столь крупный отбор подземных вод для решения проблемы питьевого водоснабжения такого большого города, как Москва;

– в последние годы наблюдается повышенный интерес населения к экологическим проблемам природопользования, в том числе к опасности крупномасштабного использования подземных вод.

Предварительный вывод авторов проекта, основанный на анализе существующего опыта эксплуатации, о незначительном влиянии водоотбора на уровень подземных вод первого от по-

верхности водоносного горизонта и, тем самым, на растительный мир, в целом является достаточно обоснованным. Однако этот оптимистический вывод, имеющий важное практическое значение для экологии региона, должен быть подкреплен и более обоснован дальнейшими опытными и экспериментальными исследованиями. В связи с этим одним из важнейших направлений дальнейших работ по повышению эффективности использования подземных вод для водообеспечения Московского региона является создание комплексного мониторинга окружающей среды, включающего подземные воды. Необходимо также провести специальные опытно-фильтрационные экспериментальные работы на опытных полигонах, позволяющие в натурных условиях смоделировать возможное влияние отбора подземных вод на экосистемы бассейнов малых рек. Проведение исследований в рамках такого мониторинга позволит определить необходимость, состав и содержание компенсационных мероприятий по минимизации возможного негативного влияния крупного отбора подземных вод на сток малых рек, состояние растительности, возникновение или усиление карстово-суффозионных процессов, качество отбираемой подземной воды. Кроме того, результаты таких работ позволят разработать научно-обоснованные методические рекомендации по региональной оценке экологических последствий влияния отбора подземных вод на окружающую среду, которые можно будет использовать при решении аналогичных проблем в других регионах.

Глава 3

ПРИНЦИПЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ И КАРТИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Под естественными ресурсами подземных вод понимается обеспеченный питанием расход подземных вод, т.е. та их часть, которая непрерывно возобновляется в процессе общего круговорота воды на Земле. Естественные ресурсы характеризуют величину питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения речного стока и перетекания из других водоносных горизонтов, суммарно выраженную величиной расхода потока. Естественные ресурсы подземных вод являются, таким образом, показателем восполнения подземных вод, отражающим их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого, и характеризуют верхний предел возможного отбора подземных вод за многолетний период без их истощения. В среднемноголетнем значении величина питания подземных вод за вычетом испарения равна величине подземного стока. Поэтому в практике гидрогеологических исследований естественные ресурсы подземных вод обычно выражаются среднегодовыми или минимальными значениями модулей подземного стока (л/с·км^2) или величиной слоя воды (мм/год), поступающей в водоносный горизонт в области его питания.

Для подземных вод зоны интенсивного водообмена, находящихся в сфере дренирующего воздействия речной сети и питающихся главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков, важными характеристиками являются коэффициенты подземного стока и коэффициенты подземного питания рек. Коэффициенты подземного стока показывают отношение подземного стока к выпадающим атмосферным осадкам, т.е. какая часть атмосферных осадков расходуется на питание подземных вод за тот или иной период времени. Коэффициенты подземного питания рек (отношение дренируемого подземного стока к общему речному стоку) показывают, какая часть расхода рек обеспечена за счет их питания подземными водами.

Следует отметить, что тезис "питание подземных вод эквивалентно подземному стоку" (при этом имеется в виду инфильтрационное питание), широко используемый при региональных оценках естественных ресурсов подземных вод, требует пояснения. Во-первых, он справедлив только для среднемноголетних данных при изучении крупных территорий (например, крупных речных бассейнов, артезианских бассейнов или их частей, всей площади распространения водоносного горизонта и т.п.) и их картировании в мелком и среднем масштабе. При детальных исследованиях отдельных участков могут быть выделены случаи, когда подземный сток существует, а инфильтрационное питание подземных вод на данном участке практически отсутствует (например, так называемый транзитный подземный сток в районах развития с поверхности мощных водоупорных толщ). Во-вторых, и это важно подчеркнуть, в ряде регионов, особенно в полуаридных и аридных районах с неглубоким залеганием грунтовых вод важной расходной статьей баланса грунтовых вод является величина испарения с их уровня в естественных условиях. При снижении уровня воды при эксплуатации водоносного горизонта в пределах депрессионной воронки за счет прекращения испарения проявляется как бы "дополнительное" пита-

ние. По сути и физическому смыслу понятия "естественные ресурсы" величина испарения с уровня подземных вод является их составной частью. Поэтому естественные ресурсы равны подземному стоку именно за вычетом испарения с поверхности подземных вод или когда этой величиной можно пренебречь.

Соотношение понятий "естественные ресурсы подземных вод", "подземный сток", "подземный сток в реки" и их величин в различных ландшафтно-климатических и гидрогеологических условиях подробно рассмотрено в работах В.М. Шестопалова (Водообмен..., 1988).

В качестве наиболее крупных районов формирования подземного стока могут быть приняты такие подземные водные системы, как артезианские бассейны, горно-складчатые области, щиты. Балансовыми районами следующего порядка могут являться площади распространения того или иного рассматриваемого водоносного горизонта, включающие его области питания, стока и разгрузки. При более детальных исследованиях выделяются районы более низких порядков, например речные бассейны или их части, участки развития подземных вод различных типов (воды карстовых массивов, аллювиальных отложений и флювиогляциальных равнин) и т. д. Принципы районирования территории по условиям формирования естественных ресурсов подземных вод рассмотрены в работах В.А. Всеволожского и И.Ф. Фиделли (Vsevolozhsky, Fidelly, 1977).

Как уже отмечалось, при региональной оценке определяются средние характеристики естественных ресурсов подземных вод для достаточно крупных территорий, а не для отдельного локального участка. Поэтому методы расчета величины питания подземных вод по опытным данным натурных и инструментальных исследований (например, по данным лизиметрических наблюдений или путем расчета баланса грунтовых вод по опытным наблюдениям) имеют ограниченное использование и часто оказываются практически неприемлемыми для региональных

исследований ввиду малочисленности таких наблюдений для многих районов и сложности их экстраполяции на значительные площади. Подобные методы могут использоваться лишь для контроля региональных величин питания подземных вод за исключением, конечно, тех районов, где сеть таких наблюдений столь значительна, что может быть использована и для региональной оценки естественных ресурсов подземных вод определенного балансового района.

Разработанные совместно Институтом водных проблем РАН, кафедрой гидрогеологии МГУ, Государственным гидрологическим институтом и институтом ВСЕГИНГЕО научно-методические основы региональной оценки и картирования естественных ресурсов подземных вод позволяют проводить их оценку в различных природно-климатических и гидролого-гидрогеологических условиях. Такие оценки в разных масштабах и с различной детальностью выполнены для многих регионов России и других стран.

В таблице 3.1 указаны основные методы, широко используемые в настоящее время для региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Эти методы более подробно описаны в специальной литературе (Куделин, 1960; Подземный сток на территории СССР, 1966; Фиделли, 1980; Зекцер, Джамалов, 1982; Подземный сток Центральной и Восточной Европы, 1982).

Каждый из указанных методов имеет свои достоинства и ограничения в применимости. Выбор конкретного метода расчета естественных ресурсов зависит от целей, задач и масштаба исследований и от гидролого-гидрогеологических и антропогенных условий оцениваемой территории. Однако, важно подчеркнуть два обстоятельства. Первое, указанные методы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод не конкурируют, а дополняют друг друга. Поэтому наиболее достоверный результат может быть получен при их совместном использовании. И второе, все указанные в таблице методы осно-

Таблица 3.1

Методы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод

Метод	Преимущества	Ограничения
Расчленение гидрографов рек	Возможность получения среднемноголетних характеристик; возможность оценки годовой и сезонной изменчивости	Необходимость многолетних наблюдений за речным стоком в ненарушенных условнях; применимость только для зоны дренирования подземных вод
Оценка изменений меженного стока реки между двумя гидрометрическими створами	Возможность получения среднемноголетних характеристик; возможность оценки годовой и сезонной изменчивости	Различия в величинах меженного стока должны превышать точность их измерений
Гидродинамический расчет расхода подземного потока (включая моделирование)	Возможность оценки естественных ресурсов отдельных водоносных горизонтов	Невозможность оценить годовую и сезонную изменчивость; необходимость осреднення гидрогеологических параметров
Среднемноголетний водный баланс областей питания или разгрузки подземных вод	Возможность расчета не дренируемого подземного стока	Оцениваемая величина подземного стока должна превышать погрешность определения основных компонентов водного баланса
Оценка инфильтрационного питания подземных вод по режиму их уровня	Возможность оценки естественных ресурсов отдельных водонюсных горизонтов	Необходимость экстраполяции данных по отдельным скважинам; возможность применения в основном в условиях естественного режима уровня подземных вод

ваны на анализе и обработке (путем аналитических расчетов или моделирования) уже имеющейся гидрологической и гидрогеологической информации и не требуют проведения специальных дорогостоящих буровых и опытно-фильтрационных работ. Последнее обстоятельство обуславливает весьма высокую экономическую эффективность работ по региональной оценке естественных ресурсов подземных вод.

Рассмотрим кратко наиболее распространенные методы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Для гумидной зоны с хорошо развитой речной сетью широко используется комплексный гидролого-гидрогеологический метод расчленения гидрографов рек за многолетний период (Куделин, 1960; Попов, 1968; Зекцер, 1977). Сущность его состоит в учете конкретных гидрогеологических условий речных бассейнов и закономерностей подземного стока в реку из всех водоносных горизонтов зоны дренирования. Режим и динамика подземного стока в реки из отдельных водоносных горизонтов, дренируемых речной сетью, определяются условиями залегания и питания грунтовых и артезианских вод в данном речном бассейне или его части и положением мест разгрузки по отношению к урезу реки. В тех случаях, когда дренируемые водоносные горизонты имеют гидравлическую связь с рекой и в период весеннего половодья происходит подпор грунтовых вод, что характерно для большинства равнинных рек, расчленение гидрографа речного стока на поверхностную и подземную составляющие производится с учетом процессов берегового регулирования подземного стока (Куделин, 1960).

Возможность применения этого метода обусловлена тем, что подземный сток зоны интенсивного водообмена в районах с постоянной речной сетью формируется под дренирующим воздействием речных систем. Следовательно, естественные ресурсы пресных подземных вод для гумидной зоны могут быть охарактеризованы величиной подземного стока в реки, определяе-

мой на основе генетического расчленения гидрографа (гидрограммы) общего стока рек, и путем выделения на нем той части, которая формируется за счет дренирования водоносных горизонтов и комплексов.

В некоторых случаях величину подземного стока приближенно можно определить путем расчета изменения меженного расхода реки на участке между двумя гидрометрическими створами. Величина изменения расхода реки на бесприточном участке (или за вычетом суммы расхода притоков), определенная в период устойчивой межени, будет характеризовать подземный сток из дренируемых водоносных горизонтов или величину питания подземных вод за счет поглощения речного стока. Гидрометрические створы должны быть выбраны таким образом, чтобы разность в расходах реки в первом и во втором створах превышала суммарную величину погрешности измерения расходов реки. В районах, где питание подземных вод осуществляется в основном за счет поглощения поверхностного стока, а также в районах широкого развития карста указанный метод позволяет рассчитывать годовые величины естественных ресурсов подземных вод.

Важное преимущество указанных методов определения подземного стока заключается в возможности получения их среднемноголетних характеристик в результате использования уже имеющихся гидрометрических данных по расходам рек. Эти методы являются основными при оценке подземного стока и естественных ресурсов подземных вод в областях с хорошо развитой речной сетью при наличии длительных наблюдений за расходом реки. Следует отметить, что величины подземного стока, полученные указанными методами, характеризуют естественные ресурсы подземных вод всей зоны дренирования, включающей обычно несколько водоносных горизонтов и комплексов. Для того чтобы оценить естественные ресурсы каждого из основных водоносных горизонтов зоны дренирования, необходи-

мо проанализировать гидрогеологические условия рассматриваемого района – распространение, мощность, литологический состав и проницаемость отдельных водоносных слоев – и охарактеризовать степень участия основных водоносных горизонтов в подземном питании рек.

В ряде случаев применение рассматриваемых методов затруднено или невозможно ввиду специфических особенностей отдельных регионов – значительного развития искусственного орошения, искажающего естественные условия речного стока и питания подземных вод, зарегулированности речного стока, существенного несовпадения поверхностного и подземного водосборов вследствие особенностей гидрогеологических условий речных бассейнов и других причин. Особенно важно иметь в виду искусственное регулирование речного стока, практически исключающее возможность использовать гидролого-гидрогеологический метод расчленения гидрографов рек для региональной оценки подземного стока и естественных ресурсов подземных вод. Поэтому метод расчленения гидрографов рек можно рекомендовать для небольших речных бассейнов, находящихся в естественных условиях. На зарегулированных реках при наличии длинных рядов наблюдений для расчленения гидрографов следует использовать данные измерения расходов рек до начала регулирования стока. В отдельных случаях на незарегулированных участках реки может быть применен метод расчета подземного стока по изменениям ее меженного расхода.

При достаточно длительных наблюдениях за режимом уровней подземных вод в естественных условиях величина питания подземных вод может быть определена путем обработки и анализа данных этих наблюдений. Она рассчитывается по отдельным скважинам по среднегодовой амплитуде колебания уровня (за многолетний период) с учетом вида режима подземных вод и значения величины недостатка насыщения или водоотдачи (Ковалевский, 1970). Величина водоотдачи или недостатка на-

сыщения рассчитывается по результатам опытных работ или определяется по литературным данным с корректировкой их применительно к конкретным гидрогеологическим условиям. Последнее значительно снижает точность определения величины инфильтрационного питания подземных вод и делает его весьма условным. Применение указанного метода для региональной оценки инфильтрационного питания сложно, а часто и невозможно из-за необходимости экстраполяции величины питания, полученной в точке (скважине), на значительную площадь.

Для оценки подземного стока также используется гидродинамический метод расчета расхода подземного потока по известным аналитическим зависимостям или путем моделирования. Работа заключается в сборе и обработке имеющихся данных по гидрогеологическим параметрам. Гидродинамический метод расчета потока широко применяется в практике гидрогеологических исследований. Однако его использование для региональной оценки подземного стока определяется степенью гидрогеологической изученности исследуемых территорий (наличием и количеством скважин, по которым рассчитываются гидрогеологические параметры). Точность расчета подземного стока этим методом зависит от количества и представительности информации о значениях водопроводимости водоносных пластов и гидравлических градиентов потоков подземных вод.

Недостатком гидродинамического метода расчета расхода потока является необходимость во многих случаях осреднения единичных значений гидрогеологических параметров, вычисленных по результатам опытно-фильтрационных работ, а также невозможность получения представления об изменчивости характеристики подземного стока в многолетнем разрезе.

Вместе с тем значение гидродинамического метода в дальнейшем будет возрастать ввиду сокращения территорий с естественным режимом поверхностных и подземных вод и совершенствованием методологии гидродинамического анализа тер-

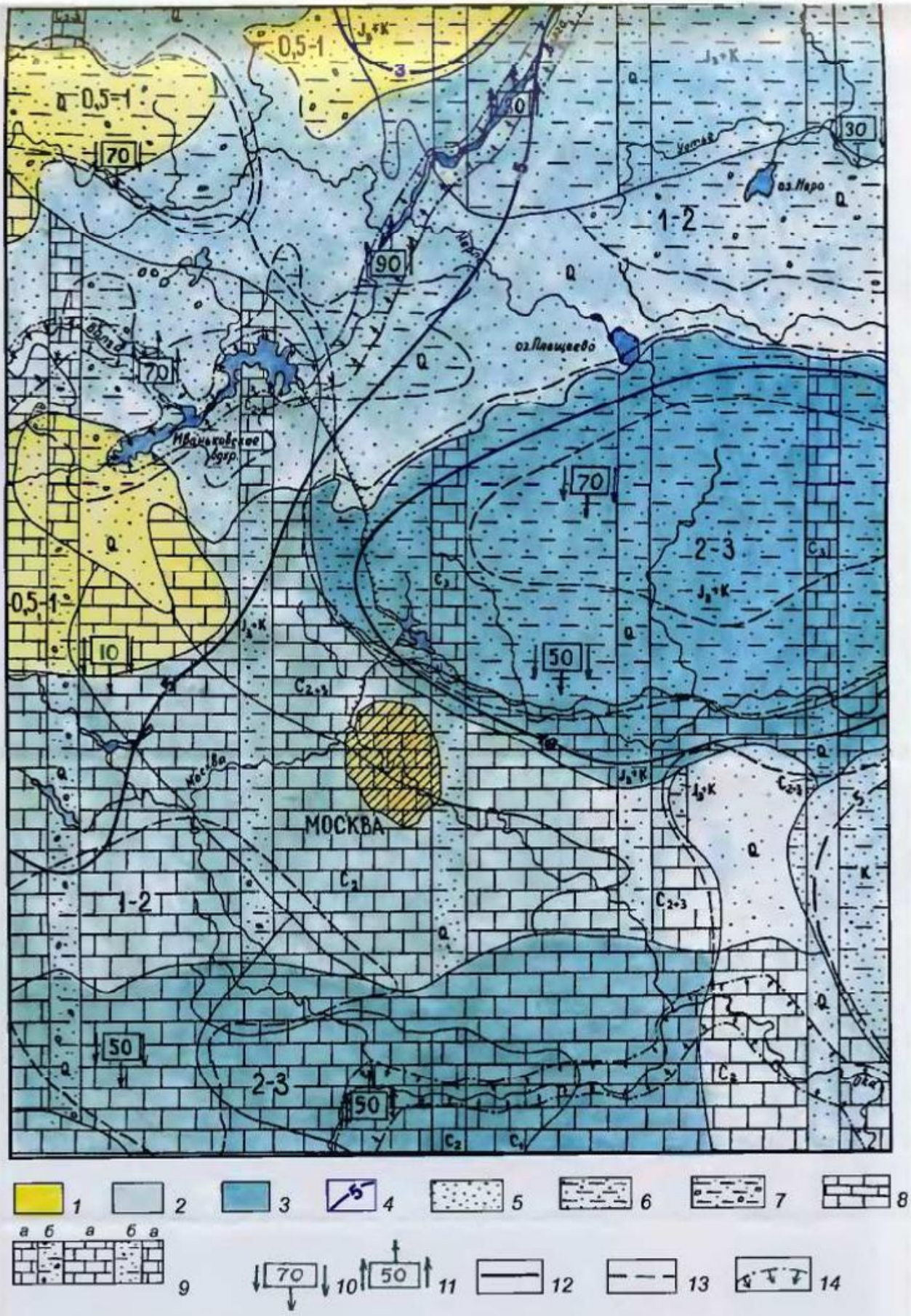


Рис. 3.1. Карта подземного стока Центральной и Восточной Европы (фрагмент)

1–3 – средние годовые значения модуля подземного стока, л/с·км^2: *1* – 0,5–1, *2* – 1–2, *3* – 2–3; *4* – изолинии коэффициента подземного стока, % от осадков. *5–8* – водовмещающие породы: *5* – преимущественно песчаные (пески, песчаники), *6* – песчано-глинистые (глинистые пески, супеси, аргиллиты), *7* – песчано-глинистые с крупнообломочными, *8* – преимущественно карбонатные (известняки, доломиты); *9* – участие водоносных горизонтов (комплексов) в формировании подземного стока: *а* – основное (более 50%), *б* – подчиненное; *10* – региональные области питания глубоких подземных вод; *11* – области (участки) восходящей разгрузки глубоких подземных вод; *12* – границы основных водоносных комплексов; *13* – границы расчетных участков (оценка величин питания и разгрузки глубоких подземных вод); *14* – границы региональных областей питания подземных вод зоны глубокого стока

ритории, в частности, с использованием современных компьютерных программ и геоинформационных технологий.

Среди выполненных опубликованных работ по региональной оценке и картированию естественных ресурсов подземных вод следует в первую очередь назвать карты подземного стока территории бывшего Советского Союза в масштабах 1:5000000 и 1:2500000, карту подземного стока Центральной и Восточной Европы масштаба 1:1500000 и недавно вышедшую из печати карту гидрогеологических условий и подземного стока Земного шара в масштабе 1:10000000. Последние две карты составлены и отредактированы международной группой экспертов под руководством и при непосредственном активном участии российских специалистов в соответствии с проектами Международной гидрологической программы ЮНЕСКО. На рисунке 3.1 (вклейка) в качестве примера приведен фрагмент карты Центральной и Восточной Европы в масштабе 1:1500000 и легенда карты. В начале 90-х годов автором настоящей монографии совместно с учеными Калифорнийского университета США (Л. Эверетт, С. Коллин и др.) была составлена и опубликована Карта подземного стока Калифорнии в масштабе 1:2000000 (рис. 3.2, вклейка).

Принципиальным отличием указанных карт подземного стока, а также аналогичных по содержанию карт подземного стока различного масштаба отдельных артезианских бассейнов России, от всех ранее опубликованных гидрогеологических карт является то, что на них впервые показаны региональные количественные характеристики естественных ресурсов подземных вод (в л/с·км^2) и их роль в общем водном балансе и общих водных ресурсах (в процентах от атмосферных осадков и в процентах от среднемноголетнего речного стока).

Карты подземного стока позволяют решать следующие важные практические задачи, связанные с комплексным использованием и охраной водных ресурсов:

– определять естественные ресурсы пресных подземных вод для оценки и прогноза перспектив их исследования в отдельных регионах;

– определять величину питания подземных вод при региональных оценках их эксплуатационных ресурсов;

– определять величину подземной составляющей речного стока, как наиболее устойчивой части ресурсов поверхностных вод с целью прогноза возможных изменений речного стока под влиянием интенсификации отбора подземных вод;

– определять величину подземного стока как элемента водного баланса при перспективном планировании комплексного использования и охраны водных ресурсов отдельных регионов.

Анализ результатов выполненных исследований (Подземный сток на территории СССР, 1966; Зекцер, 1977; Подземный сток Центральной и Восточной Европы, 1982) позволил вскрыть основные закономерности формирования подземного стока, которые, коротко, сводятся к следующему:

– распределение основных количественных характеристик подземного стока отличается резкой неоднородностью и четко выраженной дифференцированностью по основным ландшафтно-климатическим зонам и геолого-гидрогеологическим структурам;

– более 80% общего подземного стока приурочено к избыточно увлажненной и влажной зонам, около 18% стока формируется в зоне недостаточного увлажнения и лишь около 2% – в засушливой зоне;

– на равнинных территориях (на территории континентальных платформ) характерно закономерное распределение параметров подземного стока в соответствии с общеширотным воздействием климатических факторов. На этом фоне наиболее резко проявляются местные изменения подземного стока, обусловленные особенностями геофильтрационной среды зоны интенсивного водообмена;

– в горно-складчатых областях распределение величины подземного стока определяется резкими изменениями типа геофильтрационных сред и орографическим увеличением осадков с высотой местности;

– на распределение величин подземного стока значительное влияние оказывает карст, широкое развитие хорошо проницаемых аллювиальных отложений, распространение многолетнемерзлых пород.

Результаты выполненных исследований определяют необходимость разработки научно-методических основ прогноза ресурсов подземных вод как компонента окружающей среды в различных природных и антропогенных условиях в качестве основной проблемы современных научных исследований в области гидрогеологии.

Эта проблема включает решение следующих теоретических и практических задач:

– разработать методы прогноза ресурсов и качества подземных вод в условиях интенсификации хозяйственной деятельности и возможных изменений климата;

– разработать теорию и методологию прогнозов негативных последствий в окружающей среде, вызванных техногенным воздействием на подземные воды;

– разработать природоохранные ограничения интенсификации отбора подземных вод;

– совершенствовать методы оценки защищенности подземных вод от загрязнения;

– повысить степень использования подземных вод путем их искусственного восполнения за счет поверхностных вод;

– разработать и внедрить в практику природоохранные критерии, определяющие допустимое влияние отбора подземных вод на другие компоненты окружающей среды, а также допустимое влияние техногенной деятельности на ресурсы и качество подземных вод:

– разработать и внедрить принципы ведения мониторинга подземных вод в различных природно-климатических и антропогенных условиях как составной части общего мониторинга водных ресурсов и окружающей среды.

Решение указанных задач будет безусловно способствовать дальнейшему развитию учения о ресурсах подземных вод и подземном стоке.

Глава 4

РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДНОМ И СОЛЕВОМ БАЛАНСЕ МОРЕЙ И КРУПНЫХ ОЗЕР

4.1. Современные представления о подземном стоке в моря

Изучение подземного стока в моря и океаны является частью комплексной гидролого-гидрогеологической проблемы изучения подземного водообмена между сушей и морем. Подземный водообмен включает два противоположных и не эквивалентных процесса: подземный сток в море и интрузия морских вод в берега.

Эта глава посвящена разгрузке подземных вод в моря, то есть той части подземных вод, которая формируется на суше и разгружается в моря, минуя речную сеть. Подземный сток в моря формируется в обводненной толще пород береговой зоны в результате их дренирования морем. Этот процесс происходит в основном постоянно во времени и повсеместно за исключением некоторых областей Арктики, и особенно Антарктики, сложенных многолетнемерзлыми породами большой мощности.

Исследования внедрения морских вод в берега – самостоятельная задача, тесно связанная с анализом работы приморских

водозаборов подземных вод. Наибольший опыт теоретических и прикладных работ в этой области имеется в США, Канаде, Японии, Нидерландах, Франции. Многие научные международные конференции и симпозиумы посвящаются проблеме интрузий морских вод в водоносные горизонты.

Интрузия морских вод в береговых зонах в природных условиях происходит на ограниченных территориях. Однако, в нарушенных условиях этот процесс усиливается. Во многих случаях значительный отбор подземных вод в береговой зоне вызывает приток (интрузию) морских вод в берега. Следовательно, интрузия морских вод в водоносные горизонты может являться серьезной угрозой питьевому водоснабжению.

В работе известного испанского ученого Э. Кустодио (1982) отмечается, что в прибрежных районах постоянное замещение пресных подземных вод солоноватыми или солеными под влиянием эксплуатации, особенно в субмаринной части глубоких водоносных горизонтов, вызывает изменения баланса подземных вод, что необходимо учитывать при подсчете их запасов. Важный аспект исследований в этом направлении – изучение процессов физико-химических взаимодействий, возникающих при смешении подземных и морских вод различного состава.

Однако вернемся к проблеме, обозначенной в названии этой главы – роли подземного стока в водном и солевом балансе морей и океанов.

Субмаринная разгрузка в моря и океаны является наименее изученным элементом существующего и перспективного водного и солевого баланса морей. Можно назвать две основные причины такого положения. Во-первых, приток подземных вод является единственным компонентом водного баланса морей, неподдающимся прямым измерениям, а данные для хорошо обоснованных расчетов подземной составляющей водного баланса обычно отсутствует. До последнего времени не была разработана методика таких расчетов. В то же время без данных о подзем-

ном стоке водный баланс отдельных морей и океанов и Мирового океана в целом остается не замкнутым.

Вторая причина, по которой подземный сток остается плохо изученным компонентом водного и солевого баланса морей и океанов носит субъективный характер. Многие годы и даже десятилетия гидрологи, занимающиеся изучением водного баланса исходили из того, что подземный сток является небольшим по величине элементом водного баланса (по сравнению с другими его компонентами) и поэтому его можно определить, используя уравнение среднемноголетнего водного баланса. Иными словами, по их мнению, подземный сток может быть определен как разность между среднегодовыми величинами атмосферных осадков, испарением и речным стоком. Рассчитанная таким образом величина подземного стока полностью зависит от точности оценки средних величин осадков, испарения и речного стока и включает в себя все погрешности их определения, которые в сумме часто превышают значение подземного стока непосредственно в моря.

При таких расчетах их авторы получают не величину подземного стока, а подземный сток, "смешанный" со всеми ошибками определения основных компонентов водного баланса. Это приводило к неверным выводам. Наиболее наглядным примером в этом отношении могут служить ранее выполнявшиеся (примерно до 1970 г.) исследования водного баланса Каспийского моря, где по данным разных авторов, использующих изложенный выше прием расчета, значения подземного стока различались почти в 150 раз.

Такой подход представляется принципиально неверным. Именно потому, что подземный сток в море обычно является небольшим по сравнению с другими элементами водного баланса (атмосферными осадками, испарением, речным стоком) важно определить его непосредственными гидрогеологическими методами.

Исследования подземного стока в моря не отличаются принципиально от изучения разгрузки подземных вод в крупные озера, поэтому все сказанное выше и ниже в полной мере относится и к водному балансу озер.

Значительным толчком к постановке и развитию исследований подземного стока в моря в последние годы послужили запросы практики по "проблеме внутренних морей". Сущность этой проблемы состоит в том, что во многих внутренних морях (прежде всего Каспийском и Аральском) и крупных озерах происходят значительные изменения уровня воды, обусловленые как естественными факторами, так и интенсивной хозяйственной деятельностью на водосборах. Встала задача изучения современного и перспективного водного и солевого балансов этих водоемов и, следовательно, оценки роли подземных вод в формировании этих балансов. При этом должно быть исследовано влияние подземных вод не только на водный и солевой балансы водоема, но и на особенности его гидрохимического, температурного и гидробиологического режимов. К настоящему времени накоплен значительный опыт исследований по количественной оценке подземного стока во внутренние и окраинные моря и крупные озера. Основная задача этих исследований – изучение особенностей и закономерностей процессов водно-солевого обмена водоема с сушей, а также обоснование прогноза изменений подземной составляющей водного баланса под влиянием все возрастающей хозяйственной деятельности.

Необходимо особо отметить, что подземные воды, сформированные на суше и разгружающиеся в береговой зоне морей и океанов, во многих случаях оказывают значительное влияние на гидрохимический, гидрогеологический и температурный режимы морской воды в береговой зоне, а также могут влиять на процесс седиментации.

Несмотря на то, что подземный сток остается трудноопределимым и слабоизученным компонентом водного и солевого ба-

ланса морей, специалисты должны ответить на ряд сложных вопросов: каким является объем разгружающейся воды, оказывает ли он значительное влияние на водный и солевой баланс моря, каким образом изменится приток подземных вод в будущем в результате возможных изменений климата и увеличения техногенной нагрузки в береговой зоне, до какой степени необходимо учитывать подземную составляющую при изучении солевого и теплового баланса морей и океанов.

Выше рассматривались в основном гидрологические проблемы, связанные с изучением подземного стока в моря. Укажем и основные гидрогеологические проблемы, решение которых самым тесным образом связано с необходимостью изучения подземного стока в моря или в более широкой постановке, подземного водообмена суши и моря.

Как уже отмечалось, многие водозаборы подземных вод расположены на морских побережьях, и условия их работы во многом определяются характером взаимодействия подземных и морских вод. В таких условиях исследования взаимодействия морских и подземных вод в прибрежных районах проводят с целью определения наиболее оптимального дебита водозаборов, эксплуатирующих подземные воды на побережьях. В результате интенсивной эксплуатации таких водозаборов водообмен в системе "море – подземные воды" изменяется. Важная задача, стоящая перед гидрогеологами, – определение положения границы раздела "пресная подземная вода – соленая морская вода" и, следовательно, прогнозирование качества воды водозаборов подземных вод, расположенных на морских побережьях.

Подземный сток в моря – важный показатель ресурсов подземных вод. В приморских районах недостаток в пресной воде хорошего качества в ряде случаев можно значительно уменьшить или даже покрыть полностью за счет использования подземных вод, которые в настоящее время "бесполезно" стекают в море. В некоторых странах уже имеется положительный опыт исполь-

зования вод крупных субмаринных источников, разгружающихся в море недалеко от берега, а также опыт эксплуатации скважин, пробуренных на шельфе и вскрывших пресные подземные воды для водоснабжения приморских населенных пунктов.

В специальной литературе описываются многочисленные случаи практического использования вод субмаринных источников, а также отдельных скважин, пробуренных в морях, для целей водоснабжения. Приведем лишь отдельные примеры.

Большое развитие субмаринные источники получили на подводных склонах островных систем с ярко выраженным горным рельефом (Гавайские, Филиппинские, Большие Антильские острова, Большой Зондский и Малый Зондский архипелаги).

Один из наиболее крупных в мире субмаринных источников расположен у берегов острова Ямайка, где обнаружена целая пресноводная "река" с расходом 43 $м^3/с$. Этот источник обнаружен в 1600 м от берега, вода "пробивается" к поверхности моря с глубины 256 м.

Наиболее богато подводными выходами подземных вод Средиземное море, где субмаринные источники приурочены к трещинам и карстовым каналам в горных породах. В Эгейском море вблизи юго-восточного побережья Греции обнаружен субмаринный источник пресной воды с большим расходом.

Только у берегов Адриатического моря насчитывается около 700 субмаринных источников.

В Средиземном море известны источники на значительных глубинах, приуроченные главным образом к зонам локальных тектонических нарушений в карстовых отложениях (у г. Канны на глубине 165 м, Сан-Ремо – 190 м, в заливе Святого Мартина – 700 м). В Динарской приморской карстовой провинции на протяжении 420 км вдоль береговой линии обнаружено 32 выхода отдельных и групповых субмаринных источников.

В Средиземном море выходы субмаринных источников нередко столь значительны, что образуют целые пресноводные

потоки. Так, в районе устья реки Роны на дне моря обнаружены субмаринные источники, формирующие пресноводный поток среди соленых вод. Подобная пресноводная "река" течет и в Генуэзском заливе.

Наиболее детальные исследования субмаринных источников с помощью различных методов выполнены у южного побережья Франции, между городами Марсель и Кассис. Наиболее крупные источники здесь Порт-Миу и Бестуан. Еще в 1964 г. Бюро геологических и горных исследований и Водное общество г. Марселя создали специальную научно-исследовательскую организацию для изучения этих субмаринных источников, выяснения возможности их эксплуатации для водоснабжения и разработки методических приемов исследования источников подобного типа. Было установлено, что субмаринные источники приурочены к закарстованным известнякам мелового возраста, которые образуют моноклиналь, наклоненную в сторону моря. Карстовые полости в этих отложениях проявляются на глубинах моря до 100 м. Аквалангисты, исследовавшие карстовые галереи источников Порт-Миу, достигли глубины 45 м ниже уровня моря, по карстовым каналам проникли на расстояние более 1 км в глубь материка. Были установлены измерительные пункты, оборудованные датчиками скорости течения, манометрами, резистивиметрами, отобраны пробы воды и грунта, проведены опыты с красящим веществом флуорисценом, позволившие определить направление и скорость движения фильтрационного потока, выполнены геофизические эксперименты. Установлено, что в карстовых полостях происходит как бы расслоение водной массы: на более низких отметках залегает соленая морская вода, сверху – пресная подземная вода, обладающая меньшим удельным весом. Было показано, что скорость продвижения соленой морской воды в глубь галереи обратно пропорциональна величине напоров разгружающихся пресных подземных вод. Величина этого напора в свою очередь опреде-

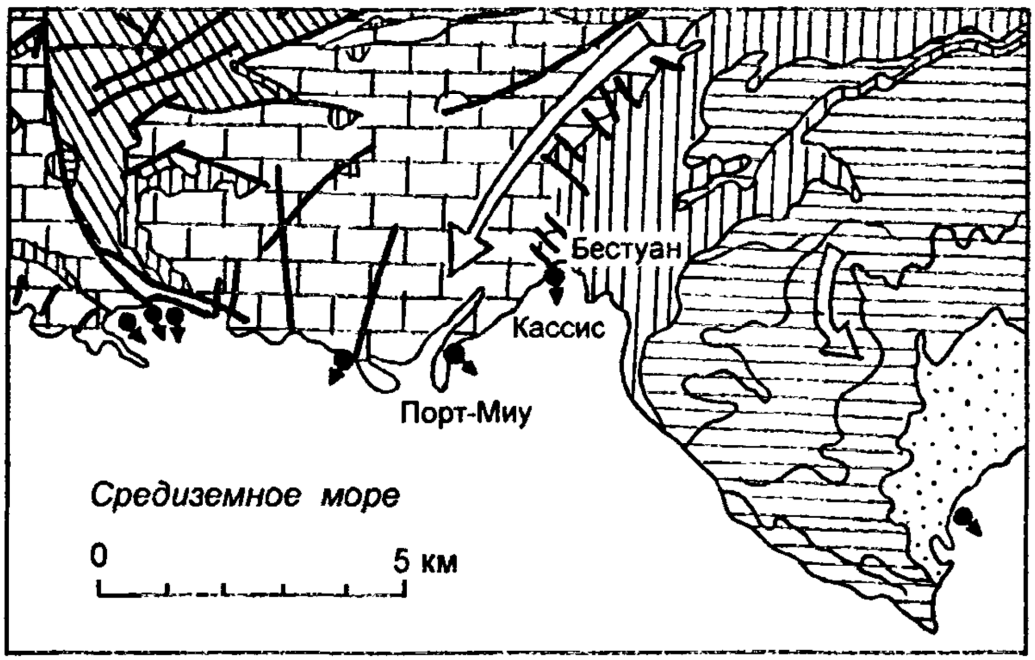
ляет расход потока пресных субмаринных вод, который движется в сторону моря по поверхности более плотных морских вод. На равновесие между пресной и соленой водой влияют напорный градиент пресного потока и колебание уровня моря, соотношение плотностей пресной и соленой воды и разность их температур, способствующие процессам диффузии.

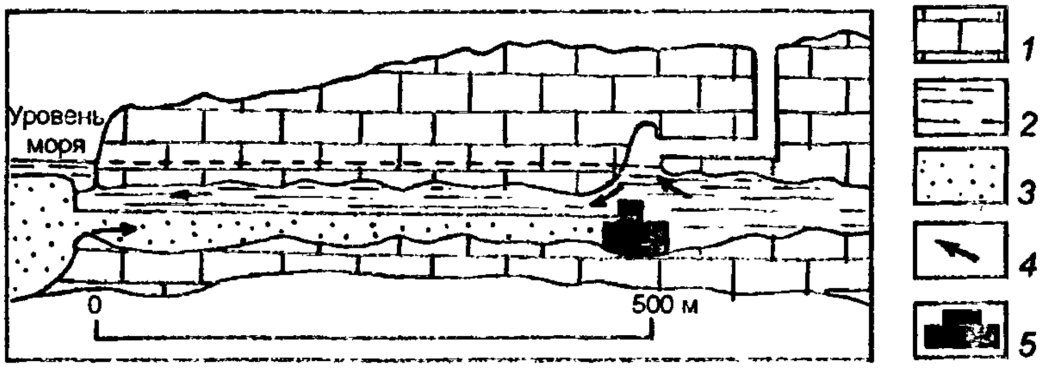
Полученные результаты исследований были использованы при проектировании и строительстве бетонной плотины на пути проникновения морской воды в глубь материка через главную карстовую галерею. Плотина построена в самой глубокой части карстовой галереи примерно в 500 м от ее выхода в море. Строительство этой плотины позволило осуществлять постоянные измерения скорости потока разгружающихся подземных вод, следить за потерями напора вдоль карстовой галереи, предотвращать внедрение морских вод и обосновывать оптимальные условия для эксплуатации подземных вод с целью водоснабжения (рис. 4.1.1).

В бывшем СССР субмаринные источники хорошо известны на Кавказском шельфе Черного моря. Здесь в районе г. Гагры и пос. Гантиади на фоне морской воды в виде светлых "вскипающих" пятен проявляются карстовые источники пресных вод с дебитом от 0,3 до 8 $м^3/с$.

Наиболее богато подводными выходами карстовых подземных вод Средиземное море. Только на Адриатическом побережье насчитывается около 700 субмаринных источников. Суммарный дебит 17 источников у берегов Ливана составляет 60 $м^3/с$. В Динарской приморской карстовой провинции на протяжении 420 км вдоль берега обнаружено 32 выхода отдельных и групповых субмаринных источников. Дебиты субмаринных источников в Средиземном море иногда столь значительны, что образуют целые пресноводные потоки. Подобные потоки среди соленых вод обнаружены в районе устья р. Роны и Генуэзском заливе.


а
Субмаринный источник Порт-Миу
Субмаринный источник Бестуан
Кассис
1


б
Бестуан
Кассис
Порт-Миу
Средиземное море
0
5 км
1
2
3
4
5
6
7
8


в
Уровень моря
0
500 м
1
2
3
4
5

Субмаринные источники значительно развиты на подводных склонах островных систем с ярко выраженным горным рельефом (Гавайские, Филиппинские, Большие Антильские острова, Большой и Малый Зондский архипелаги). Один из наиболее крупных в мире субмаринных источников известен у берегов о-ва Ямайки, где в 1,5 км от берега с глубины 256 м пробивается к поверхности факел пресной воды с дебитом на выходе 43 м^3/с.

Некоторые другие примеры. В Персидском заливе в районе островов Бахрейн выходит большое количество субмаринных родников с минерализацией воды около 4 г/л, область питания которых находится на расстоянии более 100 км на территории Саудовской Аравии.

Многочисленные субмаринные источники известны у берегов Атлантики. Так, вблизи Флориды обнаружены пресные воды на расстоянии 120 км от берега; у западных берегов Атлантики известны субмаринные источники, поднимающиеся к поверхности моря с глубин порядка 400 м.

По данным американских специалистов практически на всем восточном побережье США происходит подземный сток в Атлантический океан и Мексиканский залив. Только в одном из районов острова Лонг-Айленд (штат Нью-Йорк) подземный сток в океан оценивается в 25 млн. м^3/год. В этой части шельфа на

Рис. 4.1.1. Разгрузка подземных вод в Средиземное море вблизи г. Кассис (Франция)

а – инфракрасная фотография субмаринных источников в районе Порта-Миу и Бестуан: *1* – границы распределения пресных подземных вод в море; *б* – схематическая гидрогеологическая карта района: *1* – аллювиальные отложения, *2* – сеноманско-туронский известняк, *3* – верхнемеловые отложения морского генезиса, *4* – известняки урбоменской фации, *5* – карбонатные породы нижнего мела и юры, *6* – субмаринный источник, *7* – направление движения подземных вод, 8 – разлом; *в* – схема карстовой галлереи субмаринного источника Порт-Миу: *1* – известняки, *2* – пресные подземные воды, *3* – морские воды, *4* – направление движения воды, *5* – плотина

дне океана на расстоянии 37 км от берега (напротив устья р.Делавер) скважиной вскрыты подземные воды, обладающие значительным напором.

На плато Блейк, южнее Саванны, была обнаружена 50-метровая депрессия на дне моря, заполненная водой с температурой на 2,5°С ниже температуры окружающей морской воды. Депрессия расположена в 200 км от берега на глубине 510 м. Эта аномалия связана с разгрузкой подземных вод.

Многие субмаринные источники приурочены к подземным каньонам, которые нередко представляют собой подводное продолжение устья рек. Так, например, от устья р. Ганга в Бенгальский залив протянулся подводный каньон длиной более 1600 км, шириной около 700 км и глубиной более 70 м, к которому приурочены выходы субмаринных подземных вод.

Исследования на батискафе подводной лодки "Алуминаут" вдоль берегов Флориды выявили в 120 км от берега на глубине 510 м выходы пресных и солоноватых подземных вод.

Количественная оценка субмаринного подземного стока позволяет выявить дополнительные водные ресурсы для водоснабжения. Наиболее наглядный пример практического использования субмаринных источников – сооружение специальной плотины в море вблизи юго-восточного побережья Греции, что позволило "оградить" выходы субмаринных источников и создать как бы пресноводное озеро внутри моря. Суммарный дебит субмаринных источников здесь превышает 1 млн. $м^3$/сут. Воды этого "озера" используются для орошения земель прибрежной территории.

В настоящее время в ряде стран разрабатываются технически современные способы и средства для добычи "воды под водой". Так, в Японии получен патент на способ отбора пресной воды из субмаринного источника на дне моря. Авторы патента предлагают разделять пресную воду источника и морскую воду непосредственно на дне моря. С этой целью над источником

сооружается специальная установка с датчиками, которые непрерывно измеряют солевой состав воды. Работа установки полностью автоматизирована. Если соленость воды превышает допустимую величину, подача воды к потребителю автоматически прекращается и вода сбрасывается в море до тех пор, пока ее соленость и состав снова станут такими, какие были установлены заранее потребителем.

Итальянские специалисты предложили для отбора вод субмаринных источников использовать специальный колокол, который устанавливается на дне моря, накрывая источник. Колокол оборудован предохранительными клапанами, контролирующими расход воды и при необходимости ее состав.

Большие перспективы в области использования субмаринных подземных вод морскими водозаборами открываются в связи со значительным развитием технических средств бурения и опробования скважин на шельфе, материковом склоне и дне морей. Скважины, пробуренные на шельфе Австралии, вблизи Атлантического побережья США, на континентальном склоне Мексиканского залива и в других местах, вскрыли пресные слабоминерализованные субмаринные воды, обладающие значительным напором. Так, при бурении в Атлантическом океане у берегов Флориды пресные воды обнаружены в 43 км от берега к востоку от г. Джэксонвилла. Скважиной, пробуренной с корабля, на глубине 250 м ниже уровня моря вскрыта вода с минерализацией 0,7 г/л, при этом напор воды достигает 9 м над уровнем моря.

Следует, однако иметь в виду, что вопрос о практическом использовании субмаринных вод непосредственно в море весьма непрост. Он прежде всего определяется сложностью каптирования (оборудования) выходов субмаринных источников на дне моря, необходимостью и экономической целесообразностью сооружения такого каптажа, техническими сложностями бурения скважин в море.

Иногда высказываются суждения о высоких возможностях использования субмаринных подземных вод, об их практически неисчерпаемых ресурсах. Поэтому необходимо подчеркнуть, что выводы о возможностях практического использования субмаринных вод могут быть сделаны только после проведения специальных работ по оценке запасов этих вод, включая технико-экономическое обоснование целесообразности их использования.

Важно также отметить, что результаты бурения дна морей и океанов позволили установить наличие значительных запасов полезных ископаемых, прежде всего нефти, газа, угля, железных руд, марганца, фосфоритов. Перед исследователями стоит задача изучения роли подземного стока в формировании месторождений полезных ископаемых на дне морей. Эти работы находятся пока лишь в самой начальной стадии. Важные выводы о происхождении месторождений полезных ископаемых на дне океанов и морей могут быть получены при изучении подземного стока в моря и процессов физико-химического взаимодействия субмаринных подземных вод, горных пород и морской воды. Первые, весьма предварительные результаты работ в этом направлении показывают, что в областях разгрузки подземных вод на дне моря происходят резкие изменения окислительно-восстановительной обстановки, что может приводить к значительным фазовым превращениям.

Так, в области разгрузки пресных подземных вод на Черном море вблизи пос. Гантиади в донных отложениях содержание свинца, бария, никеля, хрома, ванадия и циркония в два и более раз выше по сравнению с фоновыми концентрациями, что, по мнению автора исследований, объясняется процессами взаимодействия разгружающихся подземных вод с донными осадками и морскими водами (Батоян, Брусиловский, 1976).

Подземный сток в моря и океаны осуществляется практически повсеместно за исключением Арктики и Антарктиды, сло-

женных глубоко промороженными горными породами, либо мощной толщей льда. Исследования последних лет, проведенные в Антарктиде, показали, что и здесь под мощной толщей льда находится огромное количество пресной воды. По данным В.М. - Котлякова с соавторами (1977), в Антарктиде под ледниковым покровом происходит донное таяние льда, которое приводит к образованию примерно 380 км^3 пресной воды в год. Наличие подземной воды подтверждено геофизическими и буровыми работами. Так, скважиной, пробуренной на станции Бэрд в Антарктиде, вскрыта под толщей льда пресная вода с высотой напора 60 м. Эти талые воды на большой глубине разгружаются в океан и оказывают опресняющее воздействие по всей прибрежной зоне.

По данным К.С. Лосева, из-под материкового ледника Ламберта в Антарктиде в океан поступает ежесекундно около 100 м^3 пресной воды, что подтверждается также наличием в подводных каньонах пресноводных наносов.

По мнению Р.К. Клиге (1995), подземный сток происходит не только в Антарктиде, но и в Гренландии и на некоторых арктических островах. По его ориентировочным оценкам, такой сток в Арктике должен составлять до 30 км^3/год, а общее поступление в Мировой океан подледниковых вод в районах Арктики и Антарктиды с учетом приведенных выше данных В.М. Котлякова с соавторами составляет примерно 410 км^3/год.

По характеру поступления в Мировой океан и роли в его водном балансе эти подледниковые воды условно можно отнести к подземному стоку, точнее, к подземной составляющей водного баланса океанов, хотя очевидно, что происхождение и формирование "подледного" стока в Мировой океан принципиально иные по сравнению с подземными водами, сформировавшимися на суше и разгрузившимися в моря и океаны.

Изучение очагов субмаринной разгрузки подземных вод представляет большой интерес и для выяснения некоторых особенностей геологического строения дна морей и океанов, обна-

ружения тектонических нарушений и выходов более древних пород.

Количественная оценка выноса солей с подземными водами в моря и океаны, помимо определения роли подземных вод в солевом балансе, позволяет охарактеризовать денудационную деятельность подземных вод, т.е. оценить масштабы снижения поверхности земли приморских территорий в результате субаринного подземного стока.

Выше мы лишь назвали основные проблемы, стоящие перед исследователями субаринных подземных вод. Даже такое краткое их рассмотрение объясняет тот интерес, который вызывают работы в этих направлениях. В специальной литературе неоднократно отмечалось важное научное и практическое значение изучения подземного стока в моря и процессов подземного водообмена суши и моря (Куделин и др., 1971; Джамалов и др., 1977; Зекцер и др., 1984). На данной стадии развития науки, с учетом конкретных запросов практики можно сформулировать пять направлений исследований в этой области, в отдельных аспектах достаточно тесно связанных между собой:

1) изучение роли подземного стока в общем водном балансе Земли и глобальном круговороте воды; 2) оценка влияния подземных вод на формирование водного и солевого балансов морей и крупных озер; 3) изучение взаимодействия морских и подземных вод в прибрежных районах; 4) изучение областей разгрузки пресных подземных вод в прибрежных зонах морей с целью их использования для водоснабжения; 5) изучение влияния подземных вод на формирование месторождений полезных ископаемых на дне морей и океанов и роли субаринного подземного стока в геологических процессах.

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время в области наук о Земле формируется новая отрасль знаний – морская гидрогеология, самостоятельная ветвь общей гидрогеологии. Морская гидрогеология тесно связана с морской гео-

логией, гидрогеологией суши, океанологией, гидрохимией и рядом других наук. Объект исследования морской гидрогеологии – субмаринные подземные воды, или, в более общем виде, субмаринная гидросфера, ее свойства, состав, строение, процессы формирования. Предмет морской гидрогеологии на данной стадии ее развития – всестороннее изучение подземного водообмена суши и моря – одного из элементов общего круговорота воды в природе.

4.2. Основные принципы изучения и количественной оценки подземного стока в моря

Динамика подземных вод артезианских структур, прилегающих к морям, свидетельствует о том, что подземный поток верхней гидродинамической зоны направлен обычно в сторону моря и формирует субмаринный подземный сток. Субмаринная разгрузка подземных вод происходит в виде концентрированных их выходов по тектоническим нарушениям и на участках развития трещиноватых и закарстованных пород, а также за счет процессов рассредоточенного перетекания через слабопроницаемые кровлю водоносных горизонтов и морские донные отложения. Разгрузка подземных вод перетеканием через слабопроницаемые отложения установлена для многих артезианских структур в пределах районов как с естественным, так и особенно с нарушенным гидрогеологическим режимом. При этом процессы перетекания нередко определяют динамику подземных вод артезианского бассейна в целом или крупных его частей и играют существенную или даже определяющую роль при субмаринной разгрузке подземных вод.

В основе изучения и количественной оценки подземного стока в моря должны лежать надежные методы исследования, позволяющие обнаружить субмаринные выходы подземных вод

и определить их расход. Эти методы достаточно четко могут быть разделены на две группы: 1) методы, основанные на количественном анализе условий формирования подземного стока в море в пределах водосборной и, прежде всего, прибрежной части суши; 2) методы морских гидрогеологических исследований, основанные на изучении непосредственно акватории моря.

Методы, основанные на изучении водосборной площади, примыкающей к морю, предусматривают анализ геологических и гидрогеологических условий прибрежной части моря. Сюда относятся: гидродинамический расчет расхода потока (аналитическим путем и моделированием), комплексный гидрологогидрогеологический метод и метод среднемноголетнего водного баланса областей питания подземных вод. Эти методы, основанные на изучении процессов движения подземных вод, являются основными для непосредственной количественной оценки подземного стока в моря в пределах той зоны геологического разреза, для которой имеются данные о гидрогеологических параметрах.

Гидродинамический метод заключается в следующем. На основе анализа геолого-структурных и гидрогеологических условий прибрежной части артезианского бассейна выделяются водоносные горизонты (комплексы), сток которых направлен непосредственно в море, минуя речную сеть. По выделенным горизонтам строятся карты уровенной поверхности и водопроводимости, отражающие общие закономерности формирования субмаринного подземного стока. Субмаринный подземный сток на протяжении всей береговой линии моря определяется с помощью основной расчетной зависимости Дарси по выделенным лентам тока. Расчет расхода потока ведется для каждого выделенного водоносного горизонта или комплекса с использованием имеющихся гидрогеологических параметров. Обычно на основании анализа общих гидродинамических условий прибрежной территории выделяют отдельные расчетные участки со

сходными гидрогеологическими условиями и уже в пределах этих участков расход потока подземных вод непосредственно в море рассчитывают с использованием гидродинамической сетки, построенной по данным наблюдательных скважин в береговой зоне.

Как уже отмечалось, один из основных путей поступления подземных вод в моря – разгрузка их путем перетекания через слабопроницаемые отложения и донные осадки непосредственно в пределах акватории. Поэтому значительный интерес представляет определение области наиболее интенсивной разгрузки подземных вод и выяснение картины распределения субмаринного подземного стока. При наличии достаточных данных, характеризующих региональные условия фильтрации подземных вод, для оценки подземного стока в моря применим метод оценки взаимосвязи водоносных горизонтов, предложенный Н.А. Огильви и развитый в работах других авторов (Огильви, Семендяева, 1972). Этот метод позволяет при известном распределении по площади значений напора и водопроводимости получить в каждой расчетной точке горизонтальную и вертикальную составляющие подземного потока. При этом разбивка области фильтрации на расчетные блоки и последующие вычисления могут быть выполнены методами конечных разностей или конечных элементов. Этот метод использовался при оценках подземного стока в Каспийское море (Джамалов и др., 1977).

А. Валдес (Valdes, 1986) описывает опыт оценки разгрузки подземных вод в карстовом районе на о-ве Хувентуд. Здесь в результате буровых работ, зондирования и отбора проб была обнаружена линза пресных подземных вод, плавающая на соленой морской воде. Изучение формы и размеров линзы в разные периоды года, а также уровня воды в скважинах свидетельствуют, что снижение уровня подземных вод в период отсутствия инфильтрационного питания происходит вследствие разгрузки подземных вод в море и суммарного испарения. Ввиду того, что

испарение было небольшим, изменение объема линзы за рассматриваемый период обусловлено подземным стоком в море, который, по расчетам автора, составлял 4500 м^3/сут. Использованный А. Валдесом метод относится к гидродинамическим методам оценки подземного стока. Его применение требует систематических наблюдений за уровнем и минерализацией подземных вод, осадками и испарением. По мнению А. Валдеса, этот метод можно с успехом применять в исследованиях подземного стока на небольшом острове.

Комплексный гидролого-гидрогеологический метод состоит в том, что в пределах всей прибрежной зоны исследуемого бассейна моря путем генетического расчленения стока рек за многолетний период определяют среднемноголетние значения модулей подземного стока для основных водоносных горизонтов. Затем, используя метод аналогий, полученные значения модулей подземного стока распространяют на сходные по гидрогеологическим условиям участки прибрежной зоны, сток с которых направлен непосредственно в море, минуя речную сеть. Путем умножения модуля подземного стока на соответствующие площади прибрежной зоны рассчитывают приток подземных вод в море из зоны интенсивного водообмена. Описанный метод применим только для бассейнов с хорошо развитой речной сетью. В этом случае оценивается не весь подземный сток в море, а только из зоны интенсивного водообмена, включающий в основном пресные подземные воды. Поэтому рассматриваемый метод целесообразно использовать с другими, например, с методом среднемноголетнего водного баланса или гидродинамическим методом.

Так, количественный подземный сток в оз. Онтарио определялся методом "базисного стока рек" и гидродинамическим способом, которые контролировали и дополняли друг друга (Singer, 1974). Использование первого метода основано на допущении, что разгрузка подземных вод на единицу площади водосбора,

примыкающей к береговой линии озера, равна средней величине разгрузки подземных вод в реки с единицы площади бассейнов рек исследуемой территории. Иными словами, модули подземного стока в реки бассейна озера принимаются за модули подземного стока непосредственно в озеро. Такой прием вполне правомерен для ориентировочной оценки подземного притока в озеро, если геологические и гидрогеологические условия бассейна рек, по которым определялись количественные характеристики подземного питания, и прибрежной части озера могут считаться аналогичными. Площадь водосбора, сток с которого направлен непосредственно в озеро, определялась с учетом различного положения уровней грунтовых вод в зимне-весенний и летне-осенний периоды. Расчеты по зависимости Дарси выполнялись для различных участков на основании имеющихся данных о гидрогеологических параметрах, полученных в том числе и путем опытных откачек.

Исследования подземного стока в оз. Онтарио были продолжены Р. Остри (Ostry, 1979). При этом были проанализированы имеющиеся опубликованные и архивные данные о геологическом строении и гидрогеологических условиях западного побережья озера, проведены разведочное бурение и опытно-фильтрационные работы. Количественная оценка разгрузки подземных вод в озеро на рассматриваемом участке выполнена по зависимости Дарси. Расчеты выполнялись для отдельных гидрогеологических районов северного и южного побережья. Использовались данные скважин, расположенных на расстоянии примерно 3 км от берега и было принято допущение, что приток в озеро формируется в основном в ледниковых наносах и в верхней части 15-метровой толщи коренных пород. Оцененная величина подземного стока в оз. Онтарио с канадского побережья (2,8 $м^3/с$) незначительна по сравнению с притоком поверхностных вод.

Метод среднемноголетнего водного баланса может быть использован для оценки подземного стока в моря из глубоких артезианских водоносных горизонтов, которые имеют четко выраженную область питания. Для области питания составляют уравнение среднемноголетнего водного баланса и по разности между осадками, испарением и речным стоком определяют значение глубокой инфильтрации, т.е. ту часть осадков, которая расходуется на питание артезианских вод. Этот метод заманчиво прост, однако его применение ограничено несколькими обстоятельствами. Во-первых, он пригоден для расчета расхода воды из тех водоносных горизонтов, которые надежно изолированы водоупорами от выше- и нижележащих горизонтов, т.е. должна быть уверенность, что сток оцениваемых горизонтов "доходит" до моря, а не расходуется на перетекание в другие слои. Во-вторых, этот метод может быть надежно использован в тех случаях, когда оцениваемое значение глубокой инфильтрации превышает точность определения других составляющих уравнения водного баланса (осадки, испарение, речной сток).

Рассмотренные методы количественной оценки подземного стока в моря позволяют с достаточной точностью определить общий субмаринный сток из всех расчетных водоносных горизонтов и получить картину его распределения в прибрежной части суши и моря с учетом взаимосвязи водоносных пластов. Полученные одним из методов значения подземного стока следует в дальнейшем проверить и проконтролировать другим методом расчета. Совместное использование нескольких методов позволяет получать наиболее надежные результаты.

Вторая группа включает методы поисков и изучения различных аномалий в морской воде или в донных осадках, которые вызваны субмаринной разгрузкой подземных вод (аномалии в температуре и составе морской воды, в составе и свойствах осадков дна, газовом, химическом и изотопном составе придонного слоя воды и др.). Эти методы позволяют выделить и качествен-

но охарактеризовать области субмаринной разгрузки подземных вод и в ряде случаев дают возможность обоснованно рассчитать величину подземного стока, вызывающего эти аномалии.

Поэтому под морскими гидрогеологическими исследованиями понимается обширный комплекс визуальных, аэрокосмических, геофизических, геохимических и других работ, направленных на изучение различных аномалий непосредственно в море (в морской воде или в донных отложениях). Таким образом, морские гидрогеологические исследования (точнее их называть "гидрогеологические исследования в море") направлены на изучение гидрогеологических процессов взаимодействия подземных и морских вод и подземного водообмена суши и моря. На рисунке 4.2.1 указаны основные методы морских гидрогеологических исследований, включающие дистанционные методы, методы непосредственных обследований субмаринных источников, методы изучения придонного слоя морской воды и методы изучения донных отложений.

Изучение влияния субмаринных подземных вод на формирование аномалий в физических и химических полях донных отложений и придонного слоя морской воды составляет методическую основу морских гидрогеологических исследований. Современный технический уровень морских исследований делает возможным измерение с высокой точностью таких важных показателей, как температура, тепловой поток, электрическая проводимость, естественные электрические и электромагнитные поля в донных отложениях, а также определение химического, микрокомпонентного, газового и изотопного состава поровых растворов донных отложений и морской воды. Однако аномалии в распределении каждого из этих параметров не являются прямым показателем разгрузки подземных вод на дне моря. Гидрогеологическая информативность значительно повышается при измерении в одной точке одновременно параметров нескольких физических и химических полей или различных составляющих

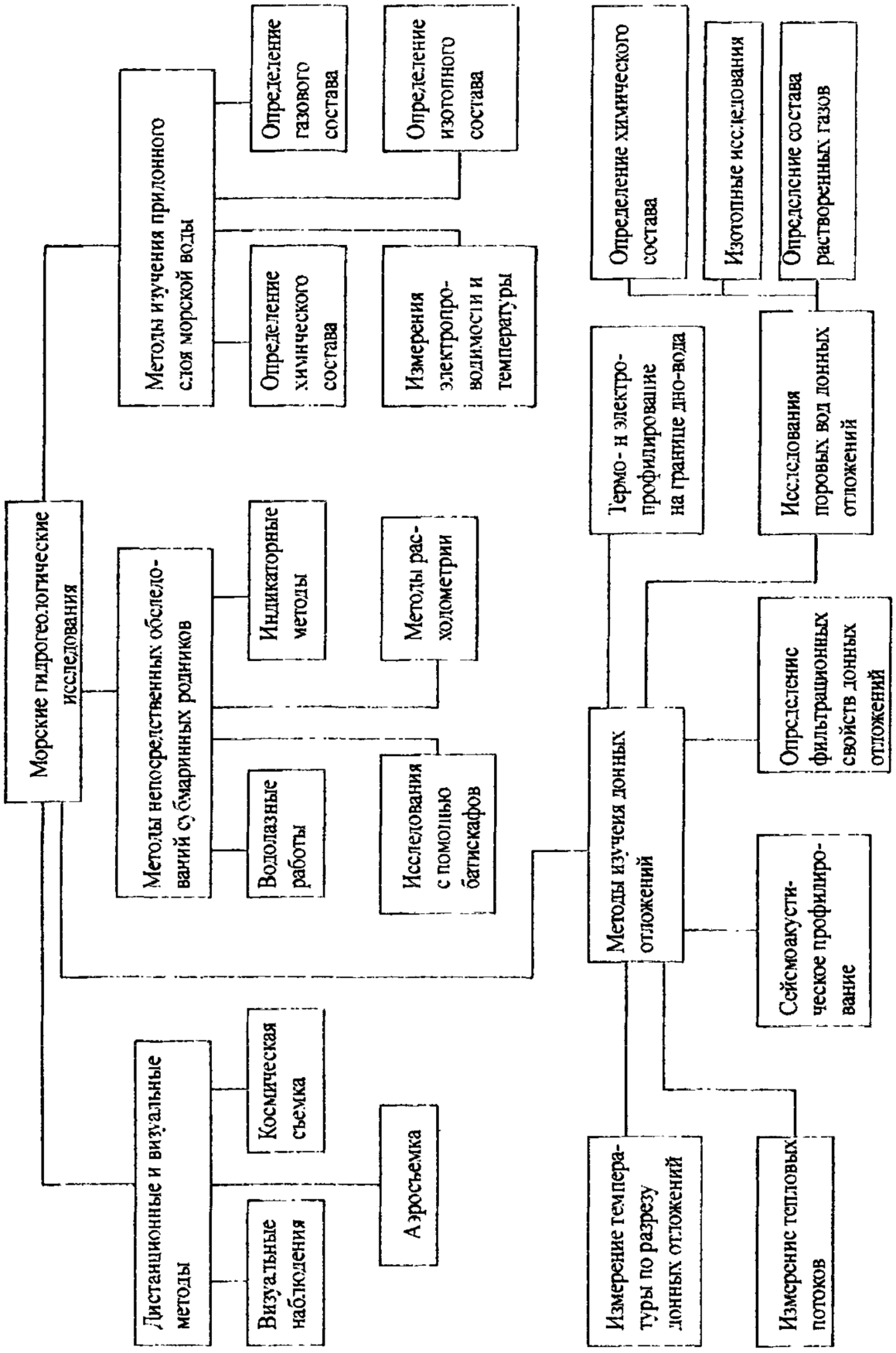


Рис. 4.2.1. Методы гидрогеологических исследований в акваториях морей и озер

одного и того же поля, а также при увеличении частоты измерений, переходящей в непрерывное профилирование.

Еще с древности известны методы обнаружения субмаринной разгрузки подземных вод – визуальное наблюдение за поверхностью моря, на которой мощные сосредоточенные субмаринные источники вызывают различные изменения. К ним относятся образование водяных куполов, "вскипание" на поверхности моря, изменение цвета морской воды, появление пузырьков газа. Изменение цвета морской воды может быть вызвано различными химическими реакциями, происходящими при разгрузке подземных вод на дне моря. По изменению цвета морской воды был обнаружен источник вблизи берегов Индонезии на фумарольных полях вулкана Бану-Вуху; там вода окрашивается в красный цвет при окислении железа, приносимого термальными субмаринными источниками. С помощью визуальных наблюдений было открыто большое количество субмаринных, в основном карстовых, источников во многих районах мирового океана.

С помощью визуальных наблюдений можно обнаружить субмаринные источники, имеющие значительный дебит, расположенные в основном в прибрежной части моря. Даже наиболее мощные источники могут остаться незамеченными, если глубина их выхода превышает десятки метров. В последнее время возможности этого метода обнаружения разгрузки подземных вод в море значительно расширены в связи с применением аэрокосмической съемки и исследований с помощью водолазной техники.

Весьма перспективны для изучения субмаринной разгрузки подземных вод дистанционные методы и прежде всего многоспектральная съемка поверхности моря с самолета или космических аппаратов. Возможность применения аэрокосмических методов для изучения подземного стока в море основана на том, что субмаринные выходы подземных вод приводят к изменени-

ям важнейших характеристик морской воды (цвета, прозрачности, температуры, структуры водной поверхности), фиксируемых на аэрокосмических снимках. Крупномасштабные аэрофотоснимки позволяют достаточно детально изучить особенности геологического и геоморфологического строения прибрежных частей суши и моря, выделить зоны разломов и зоны повышенной трещиноватости, к которым обычно приурочены крупные субмаринные источники. Изменение цвета или прозрачности морской воды, вызванное субмаринными выходами подземных вод, отражается на аэрофотоснимках появлением в соответствующем месте более или менее значительного изменения фототона, которое фиксирует субмаринный источник. В некоторых районах выходы подземных вод в море настолько обильны, а занимаемые ими площади столь обширны (например, в районе Эль-Морж в Средиземном море субмаринные источники наблюдаются вдоль берега на протяжении 200 км), что вызванные ими аномалии отчетливо фиксируются даже на снимках из космоса. Космическую съемку производят с помощью высокочувствительной аппаратуры, регистрирующей электромагнитное излучение земной поверхности в различных областях спектра. Съемка основана на спектральных отличиях в отражении солнечного света различными объектами. Этот метод позволяет с помощью соответствующих светофильтров получить максимальный световой контраст при дешифрировании элементов поверхности изучаемой территории. На первом американском искусственном спутнике, запущенном с целью изучения природных ресурсов Земли, было установлено многоспектральное сканирующее устройство для регистрации электромагнитного излучения в четырех диапазонах длин волн: зеленом (0,5–0,6 мкм), красном (0,6–0,7 мкм) и двух ближних инфракрасных (0,7–0,8 и 0,8–1,1 мкм). Выбор этих диапазонов не случаен и обусловлен различными целями. В частности, в "зеленом" диапазоне морская вода прозрачна, и на космических

снимках отображаются рельеф дна, мутность и различные примеси, имеющиеся на дне. Это позволяет обнаружить крупные карстовые источники, воды которых обычно содержат взвешенные частицы или пузырьки воздуха. Подобные источники обнаружены на аэрофотоснимках побережья о-ва Ямайки, где восходящие потоки карстовых вод образуют на поверхности моря мутные участки овальной формы. Многоспектральная съемка использовалась геологической службой США для изучения субмаринных источников вблизи Ямайки, Сицилии и Гавайских островов.

В основу инфракрасной съемки положено измерение интенсивности теплового излучения различных природных поверхностей, в том числе и поверхности моря в инфракрасном диапазоне электромагнитных волн. С помощью современных инфракрасных радиометров можно измерить с искусственных спутников Земли и самолетов изменения температуры на поверхности моря с точностью до десятых и сотых долей градуса. Инфракрасная съемка весьма эффективна для обнаружения очагов субмаринной разгрузки подземных вод. Температура подземных и морских вод обычно неодинакова. В связи с этим на космо- или аэроснимках, полученных в результате инфракрасной съемки, субмаринная разгрузка подземных вод фиксируется по характерным контрастам, имеющим обычно конфигурацию шельфов.

Следует отметить, что применение инфракрасной съемки для картирования очагов разгрузки подземных вод в акватории морей возможно лишь при условии, что аномалии температуры, вызываемые субмаринной разгрузкой, достигают поверхности моря и отличаются от температуры морской воды на величину, большую чувствительности радиометрии.

Инфракрасная съемка проводилась при изучении водных ресурсов о. Лонг-Айленд (США) и, в частности, для определения мест разгрузки подземных вод в заливе острова. Здесь темпера-

тура морской воды летом около 20°С, а подземных вод – 10–15°С. В связи с этим на летнем снимке субмаринная разгрузка подземных вод четко прослеживается вдоль линии берега по темным туманным участкам.

Кроме обнаружения субмаринных источников, инфракрасная съемка позволяет получить и ряд других важных данных. Так, дебит субмаринного источника приблизительно определяют расчетным путем, исходя из площади поверхностного пятна. По тепловым снимкам можно определить температуру источника. С помощью повторных съемок (особенно космических, не требующих затрат дополнительных средств, отличающихся высокой периодичностью и охватывающих значительные территории), проводят режимные наблюдения как на отдельных участках, так и на обширных акваториях.

Около г. Тампа (п-ов Флорида) инфракрасная съемка применялась для определения линии равного давления между разгружающимися в море подземными и морскими водами. По перемещению этой линии можно судить об интенсивности разгрузки подземных вод в море.

При изучении субмаринных источников важное значение имеют непосредственно подводные наблюдения с помощью легкой водолазной техники. Такие исследования были выполнены на шельфе Черного моря в районе гагринской группы субмаринных источников для изучения механизма разгрузки подземных вод через карстовые источники на дне моря.

Описание приемов изучения и оценки подземного стока в моря и озера было бы неполным, если не упомянуть опыт измерения дебита и напора субмаринных источников пьезометрическими установками и расходомерами различной конструкции.

Весьма перспективно применение расходомеров для оценки скорости фильтрации подземных вод через донные отложения. Принцип устройства расходомера заключается в том, что участок дна ограничивается цилиндром определенного сечения и,

таким образом, выделяется площадь, через которую измеряется субаквальная разгрузка. Цилиндр вдавливается открытой частью в донные отложения. К закрытой части цилиндра, имеющей небольшое выпускное отверстие, подсоединяются расходомеры различных конструкций. Измеряя количество воды, прошедшей через расходомер в единицу времени с определенной площади дна, получают модуль вертикальной разгрузки подземных вод. Оборудовав такой расходомер несложной электронной аппаратурой, можно проводить длительные режимные наблюдения. С помощью подобных расходомеров изучалась субаквальная разгрузка подземных вод в озеро Мичиган; ледниковое озеро Салли, штат Миннесота, США; в залив Грейт-Саут-Бой, США; в озеро Таупо в Новой Зеландии.

Изучение выходов подземных вод на значительной глубине возможно с использованием батискафов. Существующие в настоящее время батискафы позволяют в течение длительного времени и практически на любой глубине отбирать пробы отложений, проводить подводное фотографирование и другие наблюдения. Исследования, выполненные на батискафе "Алуминаут" на шельфе у берегов Флориды выявили подводные выходы пресных и солоноватых вод и позволили определить условия их разгрузки. Изучение формирования горячих рассолов на дне Красного моря и обследование глубоководных районов оз. Байкал проводилось российскими учеными на батискафе "Пайсис".

Определение напора подземных вод, разгружающихся через донные отложения, производилось с помощью специальных пьезометров на оз. Юта в США. Здесь в результате инфракрасной съемки, выполненной с самолета на высоте 1100 м, были обнаружены участки разгрузки подземных вод в акватории озера. Эти участки очень близко совпали с аномалиями распределения в озерной воде натрия, магния и калия. Визуальные наблюдения показали, что в районе разгрузки подземных вод об-

разуется свободное ото льда пространство треугольной формы с основанием длиной 5 км, расположенным у береговой линии. Вершина треугольника удалена от берега на 3 км. Кроме того, при визуальных наблюдениях удалось обнаружить на дне множество мутьевых завихрений диаметром до 3 м, которые вызваны разгрузкой подземных вод. На участке площадной разгрузки подземных вод, обнаруженном на дне озера с помощью инфракрасной съемки и аэровизуальных наблюдений, в донные отложения вдавливается на глубину 9 м иглофильтр, оборудованный пьезометром. Интересно отметить, что в скважинах, пробуренных на берегу около уреза воды, уровень грунтовых вод находится примерно на отметке уровня озера, а в пьезометрах, расположенных в акватории озера в районе аномалии, уровень достигает высоты 65 см над поверхностью озера. Это дает исследователям основание утверждать, что в озере происходит разгрузка напорных вод глубоких водоносных горизонтов. При исследованиях на оз. Юта применялся комплекс методов изучения субаквальной разгрузки подземных вод, включающий инфракрасную съемку с самолета, аэровизуальные наблюдения, гидрохимические исследования разреза озерной воды и непосредственные измерения напоров подземных вод на дне озера.

В арсенал методов изучения субмаринной разгрузки подземных вод входит применение различных индикаторов. Это позволяет по разбавлению в морской воде различных индикаторов, запускаемых в устье грифонов или в карстовую полость на суше, определить местоположение источника, условия разгрузки, а в ряде случаев и дебит субмаринной разгрузки. К таким индикаторам относятся красящие вещества типа флуорисцена, окрашенные споры, различные изотопы и просто пресная вода источника, разбавляющая морскую воду.

Для картирования и определения дебита субаквальных источников подземных вод можно использовать и радиоактивные индикаторы.

Из методов, основанных на изучении аномалий в составе и свойствах морской воды, широко применяется измерение ее электропроводности. В основе этого метода лежит связь между минерализацией, химическим составом и электрическим сопротивлением воды. Для обнаружения выходов подземных вод в море измеряют с помощью резистивиметров удельное сопротивление морской воды по профилю на различных глубинах. Одновременно с измерением сопротивления регистрируется и температура. На основании полученных данных, перейдя от удельного сопротивления к ее солености, строят карты распределения солености морской воды, а по конфигурации изолиний определяют местоположение субмаринного источника.

Для обнаружения субмаринных источников и в ряде случаев для предварительной оценки их дебита изучаются аномалии химического состава морской воды по разрезам. Эти исследования основаны на существенных различиях минерализации и химического состава подземных морских вод.

Весьма перспективно применение на борту научно-исследовательского судна автоматических анализаторов, что позволяет непрерывно по профилю определять содержание в морской воде нескольких компонентов.

В последние годы для изучения субмаринной разгрузки подземных вод применяется анализ изотопного состава морской воды. Изменения концентрации трития, дейтерия, радиоуглерода и кислород-18 в водах субмаринных источников позволяют судить об их происхождении, источниках питания, скорости движения и сроках водообмена (Burnett et. al., 1966; Cable, 1966).

Изучение аномалий в донных отложениях осуществляется различными геофизическими методами, а также путем определения фильтрационных свойств и анализа поровых растворов донных осадков. Весьма успешно применяется комплексный геофизический метод, разработанный в Институте водных проблем РАН и известный в литературе как “морской гидрогеоло-

гический комплекс". Этот метод включает непрерывное сейсмоакустическое профилирование, осуществляемое с борта судна, и непрерывное измерение температуры и солености придонного слоя воды с помощью специального зонда. Суть метода состоит в использовании сейсмоакустических сигналов для записи на борту непрерывного профиля геологического строения дна (при необходимости глубина сейсмоакустического зондирования дна может достигать 1000 м). Одновременно по тому же самому профилю на границе дно/вода регистрируется температура (точность измерений 0,01°С) и соленость (с точностью до 0,05‰).

Данный метод позволяет получить геологический профиль донных отложений и кривые температуры и солености вблизи дна по всему изучаемому профилю (рис. 4.2.2). Комплексный

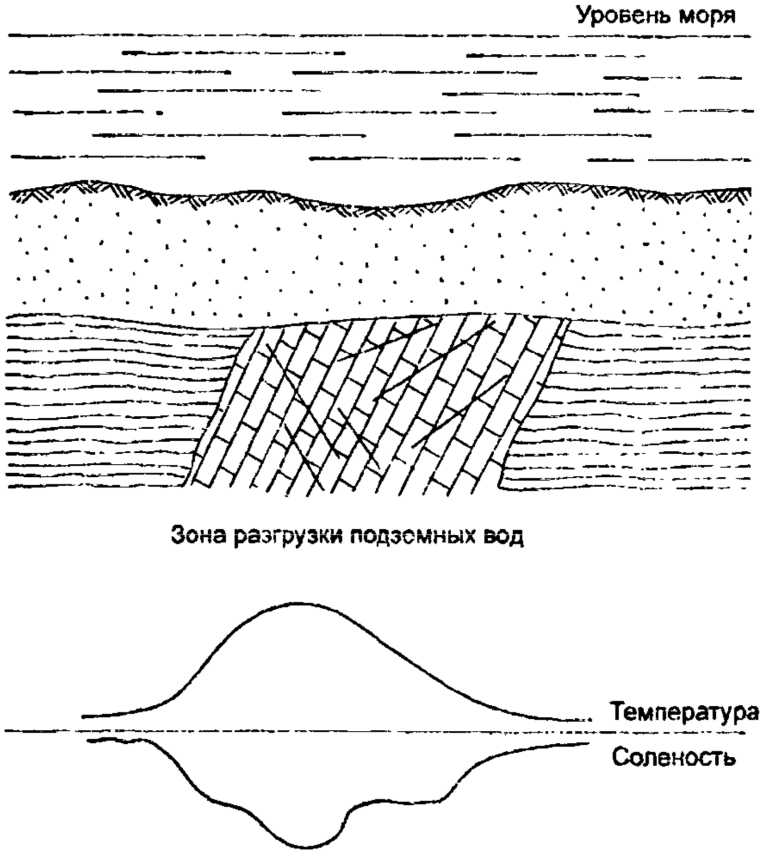


Рис. 4.2.2. Аномалия солености и температуры в морской воде, вызванная разгрузкой подземных вод

анализ полученных данных делает возможным обнаружить и оконтурить зоны подземного стока на дне озера, а расчеты по найденным зависимостям позволяют количественно оценить объем подземного стока. Расчет субмаринного подземного стока, объясняющего аномалии температуры и солености в придонном слое (определенные с помощью анализа профиля), основан на изучении солевого и температурного баланса в аномальных зонах, где подземные и озерные воды смешиваются (Зекцер и др., 1986). Этот комплексный геофизический метод был успешно использован при оценке подземного стока в Каспийское море и озера Иссык-Куль и Балхаш.

Необходимо подчеркнуть, что указанные методы определения подземного стока в озера следует рассматривать как взаимодополняющие. Наиболее надежные данные получаются при использовании комбинации методов.

Сам по себе выбор методов и их сочетание зависят в основном от конкретных задач исследований, геологических и гидрогеологических условий в прибрежной зоне, имеющихся фактических данных.

4.3. Роль подземных вод в глобальном водном и солевом балансе

Отсутствие обоснованных количественных данных о подземном стоке в моря и океаны до последнего времени сдерживало изучение общего водного баланса и круговорота воды. Без сведений о подземном стоке Мировой водный баланс оставался незамкнутым.

С учетом подземной составляющей среднемноголетний водный баланс Земного шара может быть охарактеризован следующими уравнениями:

для периферийной части суши, дающей сток в океан

$$E_п = P_п - R_п - U_о , \qquad (4.3.1)$$

для замкнутых (бессточных) областей

$$E_з = P_з , \qquad (4.3.2)$$

для Мирового океана

$$E_о = P_о + R_п + U_о , \qquad (4.3.3)$$

для Земного шара

$$E = E_п + E_з + E_о = P_п + P_з + P_о = P , \qquad (4.3.4)$$

где E – испарение; P – атмосферные осадки; R – речной сток, включающий поверхностную и подземную составляющие; U – подземный сток, направленный с суши в океан, минуя речную сеть. Индексы при буквенных выражениях обозначают: "п" – периферийную часть суши, "з" – замкнутые области, "о" – океан.

Следует отметить, что в уравнения 4.3.1 и 4.3.3 следовало бы ввести еще один член, характеризующий отток морских вод в берега. Однако этот процесс в естественных условиях носит сугубо локальный характер, поэтому внедрение морских вод в берега на данной стадии исследований может не рассматриваться как элемент мирового водного баланса. Роль подземного стока в водном и солевом балансах морей и крупных озер изучалась в ряде районов Земного шара. Однако в большинстве случаев подземный сток в моря рассчитывался как остаточный член уравнения среднего многолетнего водного баланса, т.е. как уже отмечалось, в значение подземного стока включались все погрешно-

сти определения других элементов водного баланса. Это привело к принципиально неверным выводам, а сами значения подземного стока в море целиком зависели от принятых средних значений осадков, испарения и речного стока.

В последние годы российскими учеными была выполнена приближенная количественная оценка субмаринного подземного стока в Мировой океан, который составляет около 2400 км^3/год, в том числе в Тихий океан – 1300, Атлантический – 815, Индийский – 220 и Северный Ледовитый – 50 км^3/год. При этом сток с территории Европы достигает 153, Азии – 328, Америки – 730, Африки – 236, Австралии – 24, а с крупных островов – 914 км^3/год (Джамалов и др., 1977; Зекцер и др., 1984).

Мировой океан, окраинные и внутренние моря – это основной базис дренирования поверхностного и подземного стока. В связи с этим их солевой баланс формируется под воздействием выноса солей речными и подземными водами. Из этих двух основных источников поступления растворенных веществ в моря достаточно изучен и легко определяется ионный речной сток.

Оценка влияния ионного подземного стока осложнялась отсутствием до недавнего времени данных о региональном подземном стоке непосредственно в моря.

Как свидетельствуют результаты выполненных исследований по отдельным регионам, подземный сток непосредственно в моря (минуя речную сеть) по отношению к общему речному стоку обычно выражается небольшой величиной. В то же время роль ионного подземного стока в солевом балансе внутренних морей существенна и достигает десятков процентов по сравнению с привносом солей реками. Так, вынос солей подземными водами в Каспийское море составляет около 27% привноса солей реками, в то время как подземный сток в море немного превышает 1% от поступления речных вод.

В распределении водного и ионного подземного стока в моря проявляется общая вертикальная гидродинамическая и гидро-

химическая зональность подземных вод, которая обуславливает увеличение суммарного выноса солей с глубиной, несмотря на общее снижение модуля подземного стока. Это объясняется значительно большей минерализацией подземных вод глубоких водоносных горизонтов по сравнению с водами верхних горизонтов. Такая общая закономерность иногда нарушается за счет влияния местных гидрогеологических условий, связанных с широким развитием карстующихся пород, процессами континентального засоления и распространения соленосных отложений. Так, наибольшие модули ионного подземного стока в Балтийское море (около 50 т/год·км^2) характерны для приморской части силурийско-ордовикского плато, где основной подземный сток в море формируется из водоносных комплексов закарстованных известняков и доломитов.

Следует отметить, что роль ионного подземного стока в формировании солевого режима морей может существенно возрастать при снижении общего речного стока за счет естественных факторов и в результате деятельности человека. При этом более интенсивно будут засоляться глубоководные части моря, где сроки водообмена велики. Наблюдающееся в настоящее время засоление некоторых глубоководных впадин внутренних морей может быть вызвано наряду с другими причинами увеличивающимся влиянием ионного подземного стока из глубоких водоносных горизонтов. Влияние подземного стока не только сказывается на общем солевом балансе морей, но и нередко служит основной причиной образования крупных геохимических аномалий в придонном слое воды и морских осадков. В свою очередь, аномалии в геохимических полях на дне морей служат индикаторами субмаринной разгрузки подземных вод.

Вынос солей с подземным стоком в Атлантический океан составляет 47 млн. т/год, в Тихий океан – 521, в Индийский – 296 и в Северный Ледовитый океан (с оцененных водосборных площадей) – 7 млн. т/год. Суммарный вынос солей с подземными

водами в Мировой океан достигает 1300 млн. т/год, что составляет 52% поступления солей с речным стоком (2480 млн. т/год). Соотношение выноса солей с подземными и речными водами по континентам приведено в таблице 4.3.1.

Полученные удельные характеристики подземного стока в отдельные моря и океаны (площадной модуль и линейный расход) дают возможность проанализировать и сравнить особенности его формирования в различных физико-географических и структурно-гидрогеологических условиях. Связь субмаринного подземного стока с основными формирующими его природными факторами наиболее отчетливо проявляется при сопоставлении удельных значений подземного стока с конкретных прибрежных районов отдельных континентов. Анализ условий формирования субмаринного стока, проводится по континентам. Ниже приводится краткая характеристика условий формирования подземного стока в моря и океаны по отдельным континентам. Анализ распределения удельных количественных показателей субмаринного подземного стока позволяет выявить закономерности его формирования в региональном и глобальном масштабах, кратко описанные ниже.

Таблица 4.3.1

Соотношение ионного речного и подземного стока по континентам

Континент	Ионный речной сток, млн. т	Средняя минерализация речных вод, г/л	Ионный подземный сток, млн. т	Средняя минерализация подземных вод, г/л
Европа	240	0,077	47	0,4
Азия	850	0,065	296	0,9
Африка	310	0,072	182	1,0
Сев. Америка	410	0,069	149	0,4
Юж. Америка	550	0,053	113	0,3
Австралия (включая о-ва Тасмания, Новая Зеландия, Новая Гвинея)	120	0,060	199	0,5
Всего по земному шару	2480	0,063	986*	0,6

* Ионный подземный сток с крупных островов не включен.

Подземный сток с территории **Азии** в Северный Ледовитый океан практически отсутствует в связи с широким развитием в прибрежной полосе многолетнемерзлых пород. В то же время субмаринный сток с этого континента в Тихий океан достигает 254 км^3/год. При этом минимальные значения подземного стока (до 1 л/с·км^2) наблюдаются на крайнем северо-востоке с суровым субарктическим климатом. К югу, на побережье Охотского моря, модуль субмаринной разгрузки подземных вод возрастает до 2 л/с·км^2, что обусловлено повышением среднегодовой температуры и увеличением увлажненности территории. На общем фоне низких значений подземного стока в моря на севере Азии резко выделяется п-ов Камчатка, где модули субмаринного стока достигают 10–11 л/с·км^2, расход потока подземных вод измеряется десятками тысяч кубических метров в сутки на 1 км береговой линии. Это объясняется высокой суммой атмосферных осадков, особенно в теплый период года, горным рельефом прибрежных районов полуострова и высокой проницаемостью покровных эффузивных и терригенных образований.

Прибрежные районы юга Дальнего Востока и п-ова Корея отличаются более теплым и влажным климатом за счет влияния муссонов, что наряду с экранирующим воздействием горных сооружений обусловливает увеличение модуля субмаринного подземного стока до 3,2 л/с·км^2. Сравнительно высокими модулями подземного стока (5–6 л/с·км^2) характеризуется о. Сахалин, где водосодержащие терригенные образования обладают высокими фильтрационными и коллекторскими свойствами. Общий ионный подземный сток со всего восточного побережья бывшего СССР составляет 37,6 млн. т/год. Модули ионного стока постепенно возрастают с юга на север и в районе Анадырской низменности достигают 158 т/год·км^2. Резкое увеличение выноса солей с подземными водами на крайнем северо-востоке Азии объясняется прежде всего наличием здесь мерзлых пород, что затрудняет условия водообмена и приводит к увеличению мине-

рализации подземных вод до 5–10 г/л. В остальных районах Дальнего Востока подземные воды на глубине до 500 м преимущественно пресные, однако часто наблюдается резкая смена минерализации на небольших расстояниях. Гидрохимическая зональность подземных вод здесь сформировалась под влиянием палеогидрогеологических условий, и ее современный облик определяется прежде всего климатическими особенностями и условиями питания подземных вод. Вынос солей с подземными водами в Тихий океан с восточных районов бывшего СССР составляет 35% привноса солей реками.

Исключительно благоприятные условия формирования подземного стока наблюдаются на Японских островах. Влияние муссонов, сочетание широтной зональности и высотной поясности, превышение годовых сумм осадков (до 2000 мм/год) над испаряемостью (до 1000 мм/год) обусловливают обильное увлажнение гористых прибрежных районов. Широкое развитие здесь хорошо проницаемых четвертичных, аллювиальных и морских образований (галечники, пески, песчаники) приводит к формированию интенсивного подземного стока, модули которого достигают 16 л/с·км^2. Подземные воды в хорошо промытых водообильных четвертичных породах, как правило, пресные. Нижележащие неогеновые породы отличаются частыми проявлениями нефтегазоносности и затрудненным водообменом, в связи с чем минерализация подземных вод здесь иногда достигает 20 г/л и более. Однако водообильность этих пород в целом невысокая, и можно считать, что субмаринный ионный подземный сток в основном формируется за счет пресных вод четвертичных образований, мощность которых составляет 250–300 м. Модуль ионного стока для Японских островов в среднем составляет 250 т/год·км^2, а удельный вынос солей на 1 км береговой линии колеблется от 4 до 8 тыс. т/год.

В северо-восточных и восточных районах КНР, занимающих прибрежные территории Северо-Китайского и Ляохэйского ар-

тезианских бассейнов, модули подземного стока постепенно возрастают к югу от 2,4 до 3,4 л/с·км^2. Равнинный рельеф территории и хорошая ее дренированность крупными речными артериями не способствуют формированию здесь значительного подземного стока непосредственно в море. Вместе с тем постепенный рост к югу атмосферных осадков до 1500 мм/год и некоторое улучшение условий питания подземных вод в этом же направлении приводят к увеличению модуля субмаринной разгрузки подземных вод. Следует также иметь в виду, что в пределах равнинных территорий, являющихся обычно областями транзита артезианских бассейнов, только незначительная часть регионального стока напорных вод разгружается непосредственно в море. Это обусловлено естественной и искусственной разгрузкой подземных вод в пределах суши. Воды верхних водоносных горизонтов приурочены здесь к песчано-глинистым аллювиально-озерным образованиям четвертичного возраста, мощность которых местами достигает 1000 м. За счет процессов континентального засоления в прибрежных районах отчетливо прослеживается обратная гидрохимическая зональность. Соленые грунтовые воды с минерализацией до нескольких десятков граммов в 1 л вниз по разрезу с глубины 50–100 м сменяются солоноватыми и слабосолоноватыми напорными водами с минерализацией до 1,5–2 г/л. Суммарный субмаринный ионный подземный сток в связи с повышенной минерализацией подземных вод достигает 29 млн. т/год, что обусловливает высокие модули ионного стока – от 150 до 160 т/год·км^2.

В гористых прибрежных районах, где области питания подземных вод максимально приближены к региональному базису дренирования – морю или океану, субмаринный подземный сток резко возрастает. Существенное влияние структурно-гидрогеологических и гидрогеодинамических особенностей на условия формирования подземного стока в моря отчетливо проявляется при сопоставлении удельных характеристик стока равнинных и

гористых водосборных площадей, находящихся в одних климатических условиях. Ярким примером влияния горных сооружений на условия формирования субмаринного подземного стока служат гористые водосборные площади Юго-Восточной Азии. Здесь выделяется несколько гидрогеологических массивов и сравнительно мелких артезианских структур. Модуль субмаринного подземного стока достигает 6,3 л/с·км^2, а расход подземного потока на 1 км береговой линии колеблется от 30 до 58 тыс. м^3/сут. Экранирующее влияние горных хребтов на атмосферный влагоперенос, высокое количество атмосферных осадков (более 2000–2500 мм/год) и сравнительно низкая испаряемость (700–1200 мм/год) создают в этих субтропических и тропических горных районах весьма благоприятные условия для питания подземных вод. Подземные воды связаны в основном с хорошо проницаемыми эффузивно-осадочными породами неоген-четвертичного и реже мезозойского возраста. По долинам больших рек водоносные горизонты приурочены к водообильным аллювиальным четвертичным образованиям, мощность которых достигает 300 м. Весьма благоприятные условия питания и хорошая промытость пород обусловливают низкую минерализацию подземных вод, которая почти повсеместно в пределах этого крупного региона не превышает 1 г/л. Модули ионного подземного стока в зависимости от водообильности водовмещающих пород и интенсивности субмаринной разгрузки подземных вод колеблются от 80 до 180 т/год·км^2, а удельный вынос солей на 1 км береговой линии изменяется от 8,5 до 15 тыс. т/год.

Благоприятные условия формирования подземного стока наблюдаются также на островах Юго-Восточной Азии. Постоянное влияние муссонов Тихого и Индийского океанов в этой тропической зоне приводит к почти круглогодичному увлажнению островов. Здесь в среднем выпадает 2000–3000 мм осадков в год, а на наветренных склонах гористых побережий островов Ма-

лайского архипелага их количество иногда достигает 4000–5000 мм/год. Низкая испаряемость (до 1000 мм/год) при таких осадках приводит к интенсивному поверхностному и подземному стоку. Последний изменяется здесь от 4 до 15 л/с·км^2, достигая на о. Минданао 33 л/с·км^2. Интенсивный подземный сток в Тихий и Индийский океаны с островов Лусон, Минданао и Ява обусловлен не только высоким увлажнением их гористых территорий, но и широким распространением здесь легкопроницаемых закарстованных карбонатных пород и трещиноватых вулканогенных образований, а также слабым дренирующим воздействием небольших речных долин. В то же время преобладание равнинных территорий с хорошо развитой эрозионной сетью в пределах крупных островов (Калимантан, Суматра) и широкое распространение здесь менее проницаемых терригенных песчано-глинистых образований приводят при той же структуре водного баланса к снижению модуля субмаринного подземного стока до 4 л/с·км^2 и менее. Вынос солей с островов Юго-Восточной Азии (117 млн. т/год) обусловлен прежде всего интенсивным субмаринным стоком слабоминерализованных подземных вод из верхней части хорошо проницаемых неоген-четвертичных отложений. Незначительная водосборная площадь островов и интенсивный подземный сток обеспечивают высокие модули ионного стока, которые на некоторых островах достигают 200–300 т/год·км^2.

К западу от переувлажненных районов Юго-Восточной Азии подземный сток в Индийский океан постепенно снижается, и с территории п-ова Индостан он уже немногим превышает 4 л/с·км^2. Это связано с уменьшением количества атмосферных осадков (до 1000–1500 мм/год) и ростом испаряемости (до 1300–1400 мм/год). На условия питания подземных вод здесь существенное влияние оказывает сезонность осадков, связанная с активным воздействием на прибрежные районы муссонов. В засушливый период подземные воды сильно истощаются за

счет испарения и активного дренирования эрозионной сетью. Кроме того, развитые на отдельных участках побережья кристаллические горные породы (траппы) не способствуют формированию глубокого подземного стока. Подземные воды верхней трещиноватой зоны кристаллического массива большей частью перехватываются хорошо разработанными речными долинами и слабо участвуют в субмаринном подземном стоке. В структурно-гидрогеологическом отношении в пределах полуострова выделяется несколько самостоятельных артезианских бассейнов (Годаварский, Полкский, Западно-Гатский и др.), прибрежные районы которых сложены в основном песками, песчаниками, конгломератами и сланцами различного возраста. Водообильность этих пород целиком зависит от условий питания. Они, как правило, хорошо промыты и содержат пресные воды до глубины 400 м и более. В связи с этим ионный подземный сток здесь в целом незначительный и его модули колеблются в пределах 70–90 т/год·км^2.

Далее на запад климат становится более засушливым, и с полупустынных и пустынных побережий Аравийского моря и Персидского залива подземный сток не превышает 0,6 л/с·км^2. Количество осадков здесь составляет 200–300 мм/год, иногда снижаясь до 100–150 мм/год, а испаряемость резко возрастает и обычно превышает 2000 мм/год. Самым засушливым регионом на западе Азиатского континента является Аравийский полуостров, где количество осадков редко превышает 100 мм/год. В связи с этим подземный сток в моря здесь снижается до 0,2 л/с·км^2. Минимальные осадки и высокая испаряемость обусловливают весьма низкое питание подземных вод. Грунтовые воды в этих районах расходуются в основном на испарение и не формируют субмаринный подземный сток, и только подрусловые потоки немногих постоянных и временных водотоков иногда разгружаются непосредственно в море. Поэтому основную часть субмаринного подземного стока здесь составляет региональный

сток напорных подземных вод. Они приурочены к доломитам, известнякам, песчаникам и конгломератам, а также осадочно-вулканогенным образованиям преимущественно неоген-четвертичного и мезозойского возраста. Эти отложения формируют несколько самостоятельных артезианских бассейнов различного порядка, среди которых наиболее крупными являются Индский, Оманский, Аденский, Красноморский. Отличительной особенностью этих артезианских структур является наличие в их разрезе соленосных пород. Средняя минерализация подземных вод постепенно возрастает с востока на запад от 2 г/л (Индский артезианский бассейн) до 40 г/л (Красноморский артезианский бассейн). В связи с этим ионный подземный сток увеличивается в этом же направлении от 10 до 55 млн. т/год, а его модуль достигает на побережье Красного моря 200 т/год·км^2 при выносе солей с подземным стоком на 1 км береговой линии – 15 тыс. т/год.

Распределение значений подземного стока в Тихий и Индийский океаны с территории Азии и близлежащих островов показывает, что они постепенно увеличиваются от субарктических районов до умеренной зоны, резко возрастают во влажных субтропиках и тропиках и снижаются в полуаридных и аридных районах. Следовательно, климатический фактор оказывает основное влияние на условия формирования субмаринного подземного стока и определяет его зависимость в глобальном масштабе от общей широтной физико-географической зональности (рис. 4.3.1). На этот общий фон распределения подземного стока в моря накладывается влияние местных рельефных, геолого-структурных и гидрогеологических особенностей прибрежных территорий, которые приводят к колебанию, иногда значительному, удельных значений субмаринного водного и ионного стока в пределах одной климатической зоны. Весьма значительный подземный сток в океаны формируется на территории прилегающих к континенту крупных островов, расположенных в

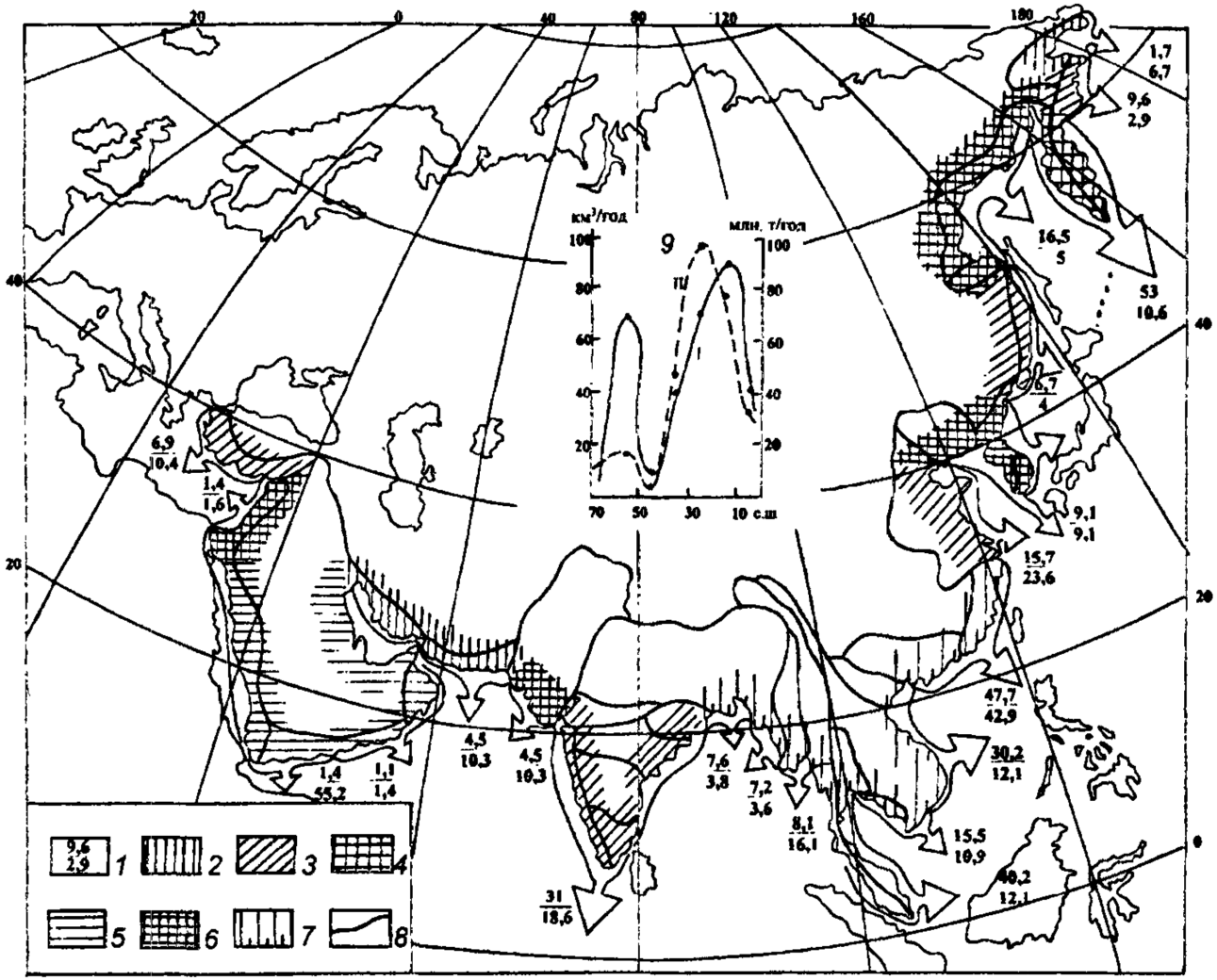


Рис. 4.3.1. Схематическая карта подземного стока в океан с территории Азии

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км³/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км²: *2* – 0,2–0,4, *3* – 0,5–1,0, *4* – 1,0–2,6, *5* – 3,0–5,0, *6* – 5,0–7,0, *7* – 10,0–15,0; *8* – границы гидрогеологических районов и артезианских бассейнов; *9* – график распределения водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам

гумидной и тропической зонах. Это связано как с благоприятными климатическими условиями, так и с гористым рельефом побережий многих островов, высокими фильтрационными свойствами залегающих с поверхности скальных пород и терригенных образований, слабым дренирующим воздействием местной эрозионной сети. Ионный подземный сток определяется интенсивностью субмаринной разгрузки подземных вод, промытостью водосодержащих пород, палеогидрогеологическими и современными условиями формирования минерализации и состава подземных вод, наличием эвапоритов и развитием процессов испарительной концентрации в аридных районах. С побережья Азии формируется субмаринный сток пресных подземных вод со средней минерализацией 0,9 г/л. Однако в аридных и полуаридных районах наряду со снижением субмаринной разгрузки подземных вод возрастает их минерализация прежде всего за счет процессов континентального засоления. Это приводит к увеличению суммарных и удельных значений подземного ионного стока. Аномально высокий вынос солей с подземными водами наблюдается в районах развития эвапоритов в разрезе водосодержащих пород (Красное море, Персидский залив), что является определяющим азональным фактором формирования минерализации и состава подземных вод. Указанные особенности формирования субмаринного подземного стока присущи не только Азиатскому континенту, а, как будет показано ниже, имеют общий глобальный характер.

Подземный сток в океаны и моря с большей части территории **Африки** довольно незначительный, что связано прежде всего с жарким засушливым климатом многих районов этого континента. Минимальными модулями субмаринного подземного стока (до 0,1 л/с·км^2) характеризуются побережья Красного моря, п-ова Сомали, Западной Сахары и пустыни Намиб. Эти районы отличаются весьма неблагоприятными климатическими условиями питания подземных вод. Грунтовый сток здесь практически

полностью отсутствует. В результате подземный сток почти целиком формируется за счет напорных вод глубоких горизонтов. На своем пути к океану большая часть артезианского стока расходуется на процессы естественной и искусственной разгрузки. В связи с этим глубокие артезианские воды только в редких случаях формируют значительный субмаринный сток.

Особо следует остановиться на формировании субмаринного ионного стока в Красное море. В тектоническом отношении этот район расположен в рифтовой зоне, борта которой представляют собой систему грабенов различного заложения и возраста. Грабены выполнены в основном осадочными породами (известняки, песчаники, глины, мергели) с широким распространением эвапоритов. Основные тектонические элементы районов продолжают свое развитие в настоящее время, о чем свидетельствуют повышенные значения теплового потока, проявления вулканизма и высокая сейсмичность. В связи с этим здесь наблюдаются выходы на поверхность термальных вод повышенной минерализации, основная разгрузка которых происходит в рифтовых зонах. Наши исследования подтверждают наиболее распространенную точку зрения, что высокоминерализованные термальные воды имеют инфильтрационное происхождение. На это, в частности, указывают сформировавшиеся в пределах суши площадная и вертикальная гидрохимические зональности: по мере приближения к береговой линии Красного моря и вниз по разрезу минерализация подземных вод возрастает от 4 до 50 г/л и от 4 до 380 г/л соответственно. Неблагоприятные условия питания обусловливают весьма незначительный модуль субмаринного подземного стока – 0,2 л/с·км^2. Вместе с тем высокая минерализация подземных вод вызывает существенный ионный сток – 22,2 млн. т/год при модуле до 150 т/год·км^2.

Расположенный южнее Сомалийский артезианский бассейн характеризуется широким развитием в верхней части разреза трещиноватых эффузивов, закарстованных известняков, доломитов,

песчаников, среди которых встречаются гипсовые прослои. Водовмещающие породы отличаются высокими фильтрационными свойствами. Однако неблагоприятные условия питания обеспечивают незначительный подземный сток, модули которого редко превышают 0,2 л/с·км^2. Подземные воды слабо циркулируют в относительно промытых трещинно-карстовых полостях и отличаются незначительной выщелачивающей способностью. В связи с этим, несмотря на наличие гипсоносных пород, минерализация подземных вод не превышает 5 г/л и в среднем по разрезу составляет 2 г/л. Ионный субмаринный подземный сток здесь в целом незначителен (около 7 млн. т/год) и характеризуется невысокими площадными модулями и линейным расходом.

К югу от п-ова Сомали расположен Дар-эс-Саламский артезианский бассейн, где подземный сток в Индийский океан постепенно увеличивается до 1 л/с·км^2. Количество осадков здесь возрастает до 1000 мм/год и более, но высокое испарение препятствует формированию значительных ресурсов подземных вод. Кроме того, широкое распространение латеритов с низкими фильтрационными качествами обусловливает небольшую инфильтрацию во время ливневых дождей. Сезонный характер увлажнения территории приводит к сильному истощению подземных вод в сухой период. Наличие эвапоритов в разрезе водовмещающих пород обусловливает повышенную минерализацию подземных вод – до 1,5–2 г/л. В связи с этим средний модуль ионного стока составляет 39 т/год·км^2.

Более благоприятные условия формирования подземного стока наблюдаются на о. Мадагаскар. Экранирующее влияние на атмосферную циркуляцию восточного побережья острова в ызывает увеличение здесь атмосферных осадков до 3000 мм/год. Это приводит к интенсивному питанию подземных вод, значительная часть которых разгружается непосредственно в океан. Однако к западу и юго-западу количество осадков резко сокра-

щается, рельеф становится более равнинным, появляется больше поверхностных водотоков с хорошо разработанными долинами. Совокупность этих факторов вызывает снижение субмаринного подземного стока с западного побережья острова по сравнению с восточным. В связи с этим средний модуль подземного стока в океан с территории всего о. Мадагаскар немногим превышает 3 л/с·км^2. Подземные воды во всех водоносных горизонтах – от четвертичного до докембрийского возраста включительно – пресные, с минерализацией от 0,2 до 0,9 г/л.

Неблагоприятными современными условиями питания подземных вод отличаются районы Западной Сахары и пустыни Намиб. В структурно-гидрогеологическом отношении в Западной Сахаре выделяются артезианские бассейны Дра, Рио-де-Оро и Сенегальский. Водоносные горизонты зоны интенсивного водообмена в первых двух артезианских бассейнах связаны с неоген-четвертичными известняками и песчано-глинистыми образованиями. Незначительный субмаринный подземный сток здесь (0,2 л/с·км^3) формируют солоноватые подземные воды со средней минерализацией 5 г/л. В связи с этим модуль ионного подземного стока достигает 25–30 т/год·км^2. Отличительной особенностью Сенегальского артезианского бассейна служит широкое развитие водообильных меловых (маастрихтских) песков и песчаников. Они залегают на глубине от 200 до 500 м, надежно изолированы сверху глинами палеогена и содержат преимущественно пресные воды. Однако по мере продвижения к Атлантическому океану эти воды замещаются солоноватыми с минерализацией до 2–3 г/л. Вышележащая континентальная неоген-четвертичная толща красноцветов слабоводообильна и содержит воды повышенной минерализации – до 15 г/л. Модуль субмаринного подземного стока незначительно возрастает с севера на юг (до 0,3 л/с·км^2). Суммарный вынос солей с подземными водами в Атлантический океан с побережья Западной Сахары немногим превышает 12 млн. т/год.

К северу от пустыни Намиб выделяются Анголо-Конголезский (междуречье Кунене и Конго) и Камеруне-Габонский (междуречье Конго и Кросс) артезианские бассейны с весьма слабой изученностью. Отличительная их особенность – широкое развитие эвапоритов. Это дает основание считать, что в отложениях палеогена и мела развиты соленые воды, которые при определенных гидрогеологических условиях могут оказывать влияние на минерализацию вод вышележащих горизонтов. Это влияние может быть особенно существенным в пределах Анголо-Конголезского артезианского бассейна, где неблагоприятные климатические условия обусловливают незначительный подземный сток (до 0,3 л/с·км^2) в зоне интенсивного водообмена. Условия питания подземных вод Камеруно-Габонского артезианского бассейна постепенно улучшаются с юга на север за счет увеличения количества осадков до 1500–2000 мм/год. Подземный сток в северных районах этого бассейна достигает 7–10 л/с·км^2. Столь интенсивный подземный сток характерен, видимо, только для верхних неоген-четвертичных водоносных горизонтов, где минерализация вод пестрая, но в среднем не превышает 2 г/л.

Наибольший субмаринный подземный сток с территории Африки наблюдается на побережье Гвинейского залива (Нигерийский артезианский бассейн), где модули достигают 13 л/с·км^2. В этих тропических районах высокого увлажнения количество осадков достигает 3000–4000 мм/год, а испаряемость обычно не превышает 1100–1200 мм/год. Это приводит к формированию весьма значительного подземного стока, чему способствует широкое развитие хорошо проницаемых песчаных почв и регулирующее влияние вечнозеленых тропических лесов. Водоносные горизонты в песках, песчаниках и известняках неоген-четвертичного, палеогенового и мелового возраста отличаются исключительно высокой водообильностью (удельные дебиты скважин до 8 л/с). Минерализация вод не превышает 0,6 г/л.

На общем фоне низких значений подземного стока с территории Африки в Индийский океан и на большей части побережья Атлантического океана район Гвинейского залива резко выделяется весьма интенсивным субмаринным подземным стоком. Благоприятное сочетание здесь климатических, физико-географических и геолого-гидрогеологических условий приводит к активному питанию подземных вод, значительная часть которых разгружается непосредственно в океан. Если общий субмаринный подземный сток с Африканского континента достигает 236 км^3/год, то с побережья Гвинейского залива ежегодно стекает 171 км^3. Суммарный ионный сток здесь составляет 85 млн. т/год, а его модули изменяются от 160 до 180 т/год·км^2. Этот район расположен во влажной тропической зоне, которая повсеместно отличается высоким подземным стоком в Мировой океан. Однако столь значительный субмаринный подземный сток позволяет рассматривать этот регион как уникальный в масштабах всей Земли.

Основной сток в Средиземное море с Африканского континента формируется в Атласских горах, в пределах которых выделяются три артезианских бассейна: Мулуинский, Телль-Атласский, Тунисский.

Артезианские структуры сложены мощной толщей мезозойско-кайнозойских пород. Основные водоносные горизонты связаны с известняками, конгломератами, песчаниками и частично эффузивами неоген-четвертичного возраста. Карстующиеся известняки и конгломераты отличаются высокой водопроводимостью (до 2500 м^2/сут), что в сочетании со сравнительно высоким количеством атмосферных осадков (до 1000 мм/год), гористым рельефом и тектонической раздробленностью пород обусловливает благоприятные условия питания подземных вод. Общий субмаринный подземный сток достигает здесь 3,5 км^3/год, а средний площадной модуль составляет 1,3 л/с·км^2. В верхней части разреза подземные воды отличаются повышен-

ной минерализацией (до 5 г/л) за счет процессов континентального засоления.

Напорные водоносные горизонты содержат до глубины 400–500 м пресные и слабосолоноватые подземные воды с минерализацией до 3 г/л. Суммарный ионный подземный сток – 3,5 млн. т/год при средней минерализации подземных вод для всего Атласского гидрогеологического района 1 г/л. Площадной модуль ионного стока составляет 41 т/год·км^2, а линейный расход – всего 1,8 тыс. т/год·км.

К востоку от Атласского гидрогеологического района в пределах Ливийской пустыни выделяется сложный Ливийско-Египетский артезианский бассейн. Условия формирования подземного стока здесь крайне неблагоприятны, так как этот район относится к самому засушливому месту на Земле со среднегодовым количеством атмосферных осадков 1–2 мм. Основные водоносные горизонты здесь приурочены к известнякам, конгломератам, песчаникам и пескам мелового, палеогенового и неогенового возраста. В целом водоносность отложений незначительная и модуль субмаринного подземного стока составляет менее 0,2 л/с·км^2. По мере приближения к береговой линии подземные воды всех горизонтов постепенно осолоняются (до 10 г/л), в связи с чем суммарный ионный подземный сток здесь достигает 6,4 млн. т/год.

Анализ распределения значений подземного стока в моря и океаны с территории Африки показывает, что оно также подчиняется широтной физико-географической зональности (рис. 4.3.2).

Преобладание жаркого засушливого климата на большей части континента несколько нивелирует различие между удельными значениями стока с водосборных площадей основных широтных зон. Однако более детальное рассмотрение условий формирования подземного стока в пределах конкретных участков побережий позволяет проследить постепенное, хотя и незначи-

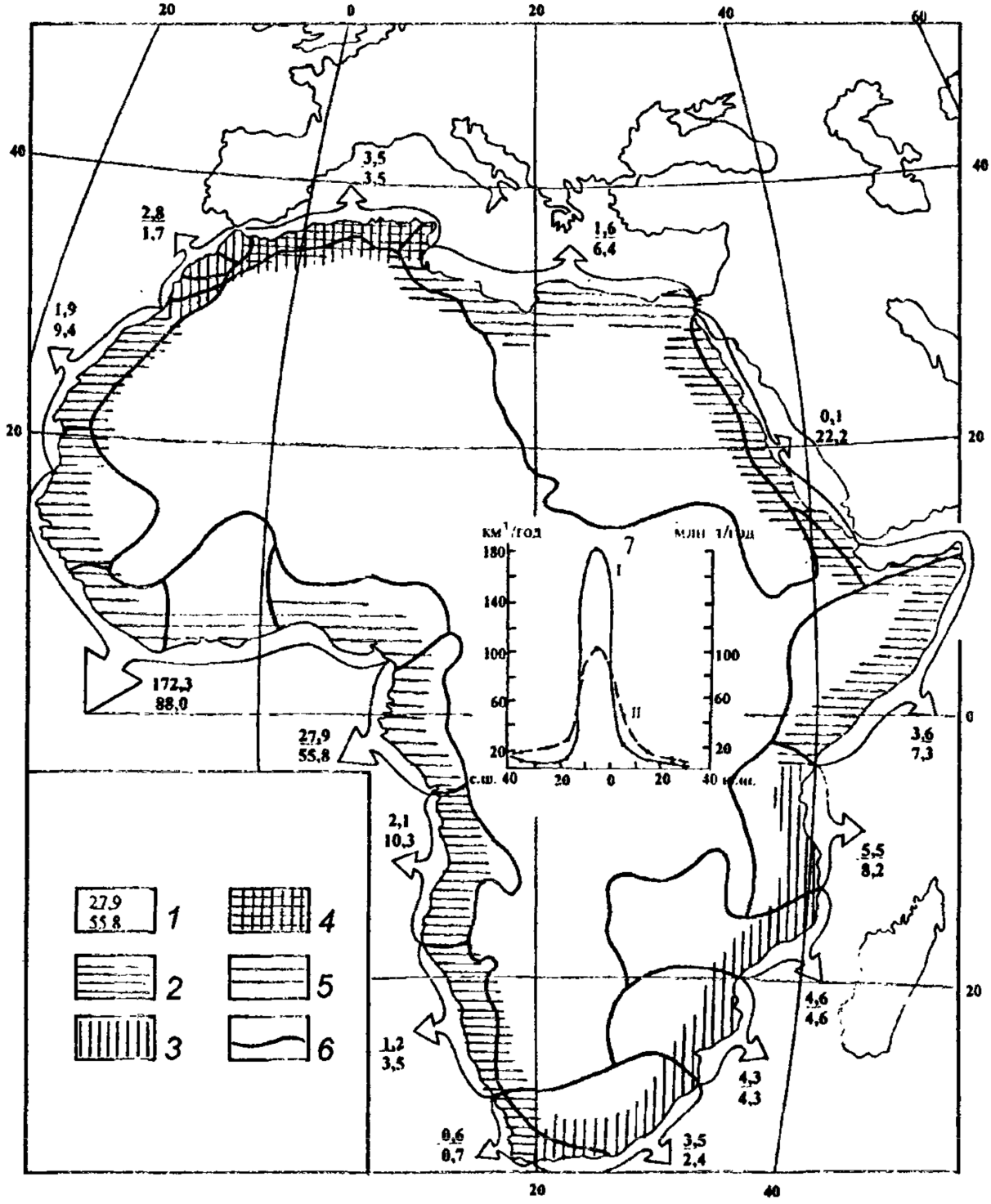


Рис. 4.3.2. Схематическая карта подземного стока в океан с территорян Африки

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км³/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км²: *2* – 0,2–0,4, *3* – 0,5–1,0, *4* – 1,0–2,6, *5* – 7,0–10,0; *6* – границы гидрогеологических районов и артезианских бассейнов; *7* – график распределения водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам

тельное, увеличение модулей стока подземных вод в Индийский океан на юг от пустыни Сахара к более увлажненным тропикам и субтропикам Восточной Африки. На Атлантическом побережье субмаринный сток также постепенно увеличивается от пустынных районов на крайнем севере и юге континента к экватору, возрастая в зоне влажных тропиков Гвинейского залива.

Особо следует остановиться на условиях формирования подземного стока в **Средиземное море**. Субмаринный подземный сток в него формируется в пределах прибрежных районов трех континентов и внутреннее положение этого моря позволяет сопоставить субмаринную разгрузку подземных вод с другими приходными статьями водного баланса. Среди элементов водного баланса основная роль принадлежит испарению с водной поверхности (3202 км^3/год) и результирующему водообмену через проливы с Атлантическим океаном и Черным морем. Годовое испарение значительно превышает атмосферные осадки (980 км^3/год) и речной сток (280 км^3/год), что приводит к дефициту в "пресном" бюджете вод на протяжении всего года. Некомпенсированность испарения вызывает снижение уровня Средиземного моря, что приводит к постоянному притоку морских вод из соседних бассейнов. Однако в существующих водобалансовых построениях абсолютно не учитывалась роль подземного стока. В то же время известно, что в Средиземном море процессы субмаринной разгрузки подземных вод развиты весьма интенсивно. Здесь наблюдается множество сосредоточенных выходов подземных вод на дне моря, образующих субмаринные источники со значительным дебитом. По количеству таких источников Средиземное море является, пожалуй, уникальным морским бассейном.

Общий подземный сток в Средиземное море достигает почти 68 км^3/год, что составляет около 24% речного стока. При этом подземный сток с территории Европы равен примерно

49 км^3/год, с территории Азии – 8 км^3/год, Африки – 5 км^3/год и с территории наиболее крупных островов – 6 км^3/год.

Условия формирования субмаринного подземного стока в Средиземное море с Африканского континента рассмотрены выше. Более благоприятные природные условия для формирования подземного стока в Средиземное море наблюдаются на территории Ближнего Востока и Малой Азии, где модули субмаринного стока достигают 3 л/с·км^2. Здесь выпадает больше осадков, причем их максимум приходится на зимний период, когда испарение снижается. В этом районе выделяются Ливано-Синайский, Антальский, Мендересский, Аденский артезианские бассейны, сложенные в основном закарстованными известняками, доломитами, конгломератами и песчаниками мезозойского и неогенового возраста мощностью от нескольких сот до 3000 м. Высокая трещиноватость и кавернозность водовмещающих пород способствуют формированию довольно значительных ресурсов подземных вод. Однако их минерализация пестрая и, как правило, повышается к югу региона, где в составе отложений развиты загипсованные известняки и терригенные образования. Пресные и слабосолоноватые воды преобладают в северной и центральной частях, к югу их минерализация достигает 12 г/л. Повышенная минерализация подземных вод этого региона обусловливает довольно значительный ионный подземный сток в Средиземное море с Азиатского континента, модули которого постепенно возрастают с севера на юг от 46 до 140 т/год·км^2.

Основная часть подземного стока в Средиземное море формируется в пределах Европейского континента. Это связано с благоприятными климатическими, орографическими и геолого-гидрогеологическими условиями. Количество осадков здесь нередко превышает 1000 мм/год. Максимум их приходится на зиму, что способствует более активному питанию подземных вод. Гористый рельеф побережий оказывает экранирующее влияние

на атмосферную циркуляцию и способствует большему увлажнению прибрежных районов. Но основным фактором, вызывающим интенсивный подземный сток, является широкое развитие карста. Карстовые пустоты поглощают осадки и поверхностные воды и нередко выводят их непосредственно в море. Дебиты субмаринных карстовых источников достигают 10–15 $м^3/с$. В связи с этим модули субмаринного подземного стока составляют 5–6 $л/с \cdot км^2$, возрастая в районе гор Динара почти до 13 $л/с \cdot км^2$.

Европейское побережье Средиземного моря в структурно-гидрогеологическом отношении представляет собой чередование гидрогеологических массивов и областей, приуроченных к горным сооружениям, и небольших артезианских бассейнов, связанных с тектоническими впадинами. Гидрогеологические массивы сложены, как правило, сильно закарстованными карбонатными породами мезозойско-кайнозойского возраста. На отдельных участках подземные воды приурочены также к трещиноватым вулканогенным образованиям. Степень закарстованности и трещиноватости водосодержащих пород определяет интенсивность подземного стока, высокие модули которого свидетельствуют о хорошей промытости водоносных горизонтов. В связи с этим минерализация подземных вод гидрогеологических массивов обычно не превышает 1 г/л и в среднем составляет 0,3–0,7 г/л.

Артезианские бассейны и прибрежные равнины сложены в основном аллювиально-морскими неоген-четвертичными образованиями. Кроме того, в их строении существенную роль играет флишевая толща мелового и палеогенового возраста. В некоторых артезианских структурах Апеннинского и Пиренейского полуостровов в составе водосодержащих пород встречаются соленосные отложения. Водоносность этих образований более низкая по сравнению с закарстованными карбонатными породами. Однако и в этих районах модули субмаринного подземно-

го стока достигают 3–4 л/с·км^2. Минерализация подземных вод в целом низкая (до 1 г/л), но на участках развития эвапоритов она может достигать 5–7 г/л и более.

Суммарный ионный подземный сток в Средиземное море с Европейского континента составляет 27,4 млн. т/год. При этом наиболее существенный ионный сток характерен для прибрежных районов Балканского и Апеннинского полуостровов. Площадные модули ионного стока изменяются от 50 до 100 т/год·км^2, а в гидрогеологической области Динарского карста они достигают 280 т/год·км^2.

Средиземноморские субтропики относятся к умеренно увлажненным районам, которые не отличаются высоким подземным стоком. Однако наличие карста в сочетании с другими благоприятными факторами обуславливает значительный приток подземных вод в Средиземное море. Своеобразные условия формирования субмаринного подземного стока позволяют рассматривать Средиземноморское побережье Европы как азональный регион, не отвечающий широтной зональности в распределении подземного стока в моря. Кроме того, выполненные оценки подземного стока в некоторые озера и моря бывшего СССР показывают, что он обычно составляет первые проценты от речного стока. В то же время общий подземный сток в Средиземное море составляет 24% от притока речных вод. Это еще раз подчеркивает уникальность данного морского бассейна и указывает на необходимость учета подземной составляющей при воднобалансовых расчетах.

Подземный сток в Атлантический океан с территории **Европы** постепенно уменьшается с юга на север с 4,5 л/с·км^2 в прибрежных районах Пиренейского полуострова до 2,5 л/с·км^2 с побережья Балтийского моря. Здесь существенное влияние на условия формирования и распределения субмаринного подземного стока оказывают рельефные особенности водосборных площадей. Равнинные территории на северо-западе континента

хорошо дренируются крупными речными долинами, и только незначительная часть подземного стока разгружается непосредственно в море. В пределах же гористых побережий формируется значительный подземный сток. Так, в прибрежной части Пиренейского полуострова выделяются три крупные гидрогеологические структуры: Пиренейская горно-складчатая область, гидрогеологический массив Месета и Западно-Португальский артезианский бассейн. В пределах гидрогеологических массивов подземные воды связаны в основном с осадочными палеозойскими породами. Наиболее водообильными являются слои закарстованных известняков, где модули подземного стока достигают 5,0–6,5 л/с·км^2. Воды в основном пресные, но на небольших участках развития соленосных пород их минерализация колеблется от 1 до 30 г/л. Однако вклад этих небольших площадей в формирование ионного субмаринного стока весьма незначителен. Западно-Португальский артезианский бассейн сложен различными по составу породами от мезозойского возраста до четвертичного. В зависимости от фильтрационных свойств водовмещающих пород модули подземного стока в прибрежной части артезианской структуры изменяются от 1,6 до 4,8 л/с·км^2. Воды пресные, со средней минерализацией 0,5 г/л. Ионный подземный сток с Пиренейского полуострова составляет 4,9 млн. т/год. Основная его часть (до 3,6 млн. т/год) формируется в пределах гидрогеологических массивов, где наблюдается значительный субмаринный подземный сток (7,1 км^3/год).

На Атлантическом побережье Франции выделяются Аквитанский (Гароннская и Луарская низменности) и Парижский (Северо-Французская низменность) артезианские бассейны, разделенные Армориканским гидрогеологическим массивом. Основным водоносным комплексом артезианских бассейнов служит закарстованная толща карбонатных пород юрско-мелового возраста мощностью до 1500–2000 м. Трещинно-карстовые воды мезозоя образуют единый водоносный комплекс с водами перекры-

вающих их четвертичных терригенных образований и нередко имеют свободную поверхность. По мере приближения к береговой линии воды комплекса приобретают значительный напор и разгружаются в пределах всего широкого шельфа Бискайского залива и пролива Ла-Манш. Высокие фильтрационные свойства карбонатных пород и благоприятные условия питания способствуют формированию в этих бассейнах значительных естественных ресурсов подземных вод. Это в свою очередь приводит к существенному субмаринному стоку, модули которого изменяются от 3,8 до 4,8 л/с·км^2.

В пределах Арморикансного гидрогеологического массива подземные воды связаны с верхней трещиноватой зоной докембрийских и палеозойских метаморфических пород, прорванных интрузиями. Наиболее обводненными являются тектонические нарушения и зоны контакта с интрузиями. Геологическое строение массива исключает развитие протяженных водоносных горизонтов и комплексов. Однако субмаринный подземный сток здесь сопоставим со стоком напорных подземных вод с артезианских бассейнов и в сумме составляет 4,8 км^3/год. Подземные воды в пределах всего побережья Франции пресные, со средней минерализацией 0,4 г/л. Субмаринный ионный сток составляет 4 млн. т/год, при этом модуль ионного стока в районах развития карстующихся карбонатных пород достигает 60 т/год·км^2 и более.

Подземные воды артезианских структур, приуроченных к Северо-Германской и Польской низменностям, связаны в основном с песчаными и галечниковыми прослоями в аллювиальных, аллювиально-морских и ледниковых отложениях неоген-четвертичного возраста мощностью до 200 м и более. Частые глинистые прослои моренных образований приводят к формированию напорных водоносных горизонтов начиная с глубины 20–40 м. Существенное гидрогеологическое значение имеют древние погребенные долины, выполненные хорошо отсортированны-

ми флювиогляциальными песками и характеризующиеся модулем подземного стока до 5 л/с·км^2. Равнинный характер территории и густая сеть разработанных речных долин обусловливают хорошую дренированность территории, в связи с этим модуль субмаринного подземного стока не превышает 2,5 л/с·км^2. Воды верхней гидродинамической зоны, как правило, пресные, со средней минерализацией 0,3–0,5 г/л. Однако соленосные отложения в породах мезозойского возраста иногда образуют соляные купола и штоки, пронизывающие палеоген-неогеновые слои. Это приводит к повышению минерализации подземных вод на отдельных участках до 3–5 г/л. Суммарный ионный подземный сток здесь составляет 4,8 млн. т/год, а модуль ионного стока изменяется от 20 до 40 т/год·км^2.

Прибрежные районы Скандинавии за счет активного влияния воздушных масс с Атлантики относятся к наиболее увлажненным территориям Европы. Невысокая испаряемость и широкое развитие трещиноватых коренных пород обусловливают большую инфильтрацию атмосферных осадков. Совокупность столь благоприятных природных факторов приводит к аномально высоким значениям субмаринного подземного стока (6,5–11,5 л/с·км^2), не характерным для этой зоны, переходной от умеренного к субарктическому поясу. Региональное распространение в этом районе имеет водоносный горизонт, связанный с трещиноватой зоной метаморфических пород архей-протерозойского возраста. Экзогенная трещиноватость этих пород в значительной степени усиливается в зонах многочисленных тектонических нарушений, глубина заложения которых колеблется в широких пределах. Существенное гидрогеологическое значение здесь также имеют различные по форме тектонические и эрозионные понижения, выполненные флювиогляциальными и ледниковыми образованиями мощностью до 100 м, с которыми обычно связаны крупные скопления подземных вод. Следует особо отметить наличие мульдообразных структур на юге Швеции

(Мальмё, Кристианстад), сложенных меловыми карбонатными породами, песчаниками и песками мощностью до 200 м. Подземный сток здесь резко возрастает, достигая на отдельных участках 500 л/с. В кристаллических породах воды ультрапресные, а в меловых отложениях – солоноватые. Суммарный ионный сток составляет 9 млн. т/год, а его модуль за счет интенсивного субмаринного стока достигает 60 т/год·км^2.

Европейское побережье Северного Ледовитого океана отличается сравнительно низким подземным стоком, модули которого постепенно уменьшаются с запада на восток с 1,5 до 0,9 л/с·км^2. Снижение субмаринного стока к востоку связано прежде всего с более суровым климатом. Спорадическое распространение в верхней части разреза многолетнемерзлых пород затрудняет или полностью исключает инфильтрацию атмосферных осадков, в связи с чем подземный сток в субарктических районах резко уменьшается. Подземные воды ультрапресные и пресные, с минерализацией от 0,1 до 0,5 г/л. Суммарный ионный сток составляет 7,2 млн. т/год, его модуль обычно не превышает 30–40 т/год·км^2.

Следует особо остановиться на условиях формирования субмаринного подземного стока с островов Великобритания и Ирландия. Субмаринные источники здесь известны с древности. Они связаны, как правило, с водоносными комплексами закарстованных известняков. Подземные воды в пределах островов приурочены ко всей толще отложений от четвертичного до докембрийского возраста. Но именно известняки юрского, мелового и каменноугольного возраста повсеместно отличаются высокой водообильностью и формируют значительный субмаринный сток, модули которого превышают 6 л/с·км^2. Так, по оценкам английских специалистов, в юго-восточном Кенте на участке от г. Дувра до г. Фолкстона субмаринный подземный сток достигает 23 тыс. м^3/сут, что составляет 42% естественных ресурсов подземных вод юго-восточного Кента. Минерализация под-

земных вод обычно не превышает 0,5–0,7 г/л, но на отдельных участках распространения соленосных пород и на большой глубине она достигает 14 г/л и более. Суммарный ионный сток с обоих островов составляет почти 30 млн. т/год, модуль изменяется от 100 до 140 т/год·км^2, а линейный расход достигает 7 тыс. т/год·км.

Следовательно, подземный сток в моря с Европейского континента также подчиняется широтной физико-географической зональности (рис. 4.3.3). Местные геолого-гидрогеологические и рельефные особенности водосборных площадей усложняют эту общую картину распределения стока и иногда могут обусловливать резкие их отклонения от характерных средних значений. Примером такого определяющего влияния местных факторов на условия формирования подземного стока служат прибрежные районы Скандинавии и Средиземноморья, где экранирующее воздействие горных сооружений, широкое развитие карста и трещиноватых пород приводят к азонально высокому субмаринному стоку.

Подземный сток в моря и океаны с территории **Северной Америки** формируется под влиянием тех же факторов, что и в пределах уже рассмотренных территорий. Однако Американский континент в целом отличается от Евразии большим увлажнением за счет обширного проникающего влияния океанических воздушных масс. В связи с этим с территории Америки наблюдается самый значительный субмаринный подземный сток в океаны (780 км^3/год).

Минимальными модулями стока характеризуются небольшие участки побережья Гудзонова залива. На этом фоне низких значений стока на севере континента выделяются прибрежные районы юга Аляски и п-ова Лабрадор, где, подобно Скандинавии, высокие модули (5–7 л/с·км^2) обусловлены экранирующим воздействием на атмосферный влагоперенос горных сооружений. Близость к побережью океанов областей питания и неполная

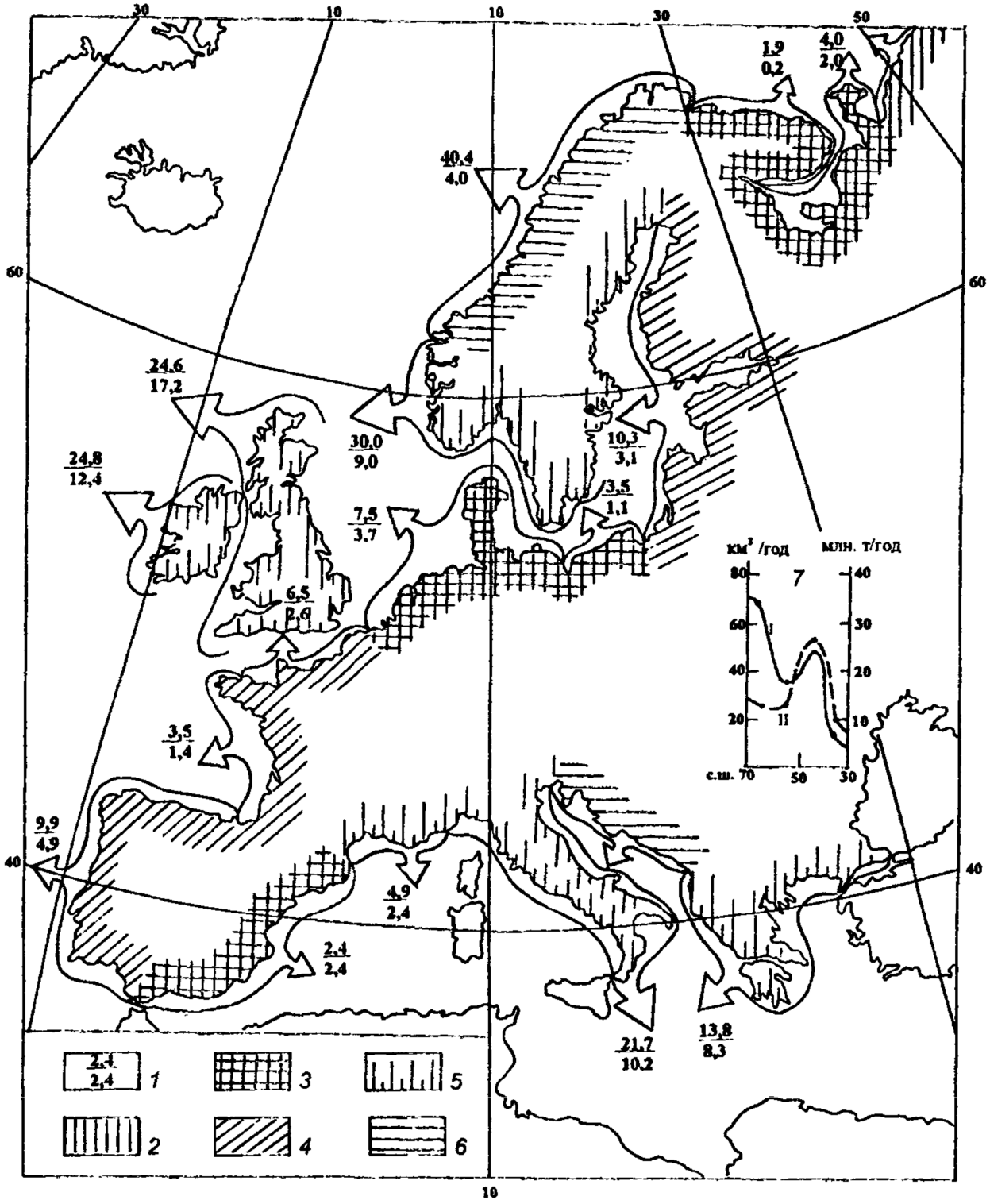


Рис. 4.3.3. Схематическая карта подземного стока в океан с территории Европы

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км³/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км²: *2* – 0,5–1,0, *3* – 1,0–2,6, *4* – 3,0–5,0, *5* – 5,0–7,0, *6* – 10,0–15,0; *7* – график распределения водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам

дренированность водоносных пород эрозионной сетью обусловливают интенсивный субмаринный подземный сток. Благоприятное сочетание указанных факторов способствует формированию еще более интенсивного подземного стока в Тихий океан с водосборных площадей канадских Кордильер, где за счет более теплого и влажного климата средний модуль субмаринного стока достигает 13 л/с·км^2, а расход подземного потока на 1 км береговой линии превышает 70 тыс. м^3/сут. Подземные воды в этих районах приурочены, как правило, к верхней трещиноватой зоне кристаллических пород различного возраста, а также к сильно дислоцированным осадочным отложениям, среди которых наиболее водообильными являются песчаники и конгломераты. Существенное гидрогеологическое значение имеют эрозионные и тектонические долины, выполненные хорошо промытыми галечниками, сортированными песками аллювиально-ледникового генезиса, мощность которых иногда достигает нескольких сот метров.

Подземные воды пресные, со средней минерализацией 0,2–0,4 г/л. Однако в северной части Аппалачей за счет развития соленосных пород в нижней части разреза минерализация подземных вод достигает 2,5–10 г/л. Площадь участков с повышенной минерализацией в целом незначительна, и для всего Аппалачского гидрогеологического района средняя минерализация подземных вод составляет 0,9 г/л. Модуль ионного подземного стока колеблется от 10 до 60 т/год·км^2, а в районе Аппалачей достигает 160 т/год·км^2.

Средними значениями подземного стока характеризуется умеренная зона Атлантического побережья Северной Америки. Эти значения стока можно рассматривать как наиболее характерные для умеренных широт земного шара с типичными для этих районов условиями формирования субмаринного подземного стока. Вместе с тем превалирование каких-либо природных факторов формирования стока может приводить к аномально низким

или высоким значениям субмаринной разгрузки подземных вод. Примером низких значений модуля подземного стока в океан (до 1,6 л/с·км^2) может служить побережье у Миссисипской низменности. Здесь разгрузка подземных вод происходит в основном в долине р. Миссисипи и до Мексиканского залива доходит лишь часть подземного стока. В то же время широкое развитие карстующихся карбонатных пород и трещиноватых песчаников на п-ове Флорида приводит к азонально высокому подземному стоку с полуострова в океан, модуль которого на отдельных участках достигает 6,3 л/с·км^2. Клин пресных и солоноватых подземных вод, формирующихся на полуострове в известняках палеогена и частично мела, простирается подо дном Атлантического океана на расстояние более 120 км и до глубины свыше 600 м. Этот район, наряду с о. Лонг-Айленд, стал классическим примером субмаринной разгрузки подземных вод. Широкое развитие пресных подземных вод на всем побережье Атлантического океана США (0,2–0,4 г/л) обусловливает незначительный ионный подземный сток, модули которого постепенно возрастают к п-ову Флорида от 10 до 40 т/год·км^2.

Жаркий засушливый климат Мексиканского нагорья не способствует формированию значительных ресурсов подземных вод, в связи с чем модули субмаринного подземного стока составляют здесь всего 1–2 л/с·км^2. Эта зона минимального стока резко сменяется к югу влажным тропическим поясом Центральной Америки, где модули субмаринной разгрузки подземных вод возрастают до 10–11 л/с·км^2. Гористые побережья, высокое количество атмосферных осадков (2000–3000 мм/год) и широкое развитие карста и трещиноватых эффузивов проводят к активному питанию подземных вод, значительная часть которых разгружается непосредственно в Тихий и Атлантический океаны. Минерализация подземных вод колеблется от 0,3 до 1 г/л. Модули ионного подземного стока достигают 200 т/год·км^2 в районе п-ова Юкатан, что обусловлено широким развитием здесь

карстующихся карбонатных пород с небольшими прослоями эвапоритов.

Наиболее увлажненными районами **Южной Америки** являются бассейн р. Амазонки и территория Гвианы. Структура водного баланса здесь благоприятна для обильного питания подземных вод, так как количество осадков (свыше 2000 мм/год) примерно вдвое превышает испаряемость (900–1000 мм/год). В связи с этим в этом районе формируется весьма интенсивный подземный сток, значительная часть которого, несмотря на дренирующее воздействие речных долин, разгружается непосредственно в Атлантический океан. Модули субмаринного стока изменяются от 10–13 л/с·км^2, а расход подземного потока на 1 км береговой линии иногда превышает 100 тыс. м^3/сут. В этой части побережья Атлантического океана (в пределах Венесуэлы и Гвианы) выделяется серия так называемых прибрежных артезианских бассейнов. Наиболее водообильные водоносные горизонты этих бассейнов связаны с кавернозными известняками палеогена и отсортированными песками неогена. Значительная мощность водовмещающих пород (от 50 м до нескольких сот метров), их высокие фильтрационные свойства (водопроводимость свыше 2000 м^2/сут) и благоприятные условия питания обусловливают формирование весьма существенных ресурсов подземных вод и интенсивного подземного стока. Подземные воды в хорошо промытых отложениях имеют среднюю минерализацию 0,4–0,6 г/л. Однако, благодаря преобладанию карбонатных пород и исключительно высоким значениям подземного стока, модули субмаринного ионного стока составляют 120–240 т/год·км^2.

Бразильское нагорье отличается неравномерным увлажнением территории, причем кратковременные ливневые дожди и широкое развитие латеритов не способствует здесь активному питанию подземных вод. Субмаринный подземный сток постепенно сокращается к югу и обычно не превышает 2,5 л/с·км^2.

Далее к югу наблюдается резкое уменьшение подземного стока, и в районе Патагонии модули субмаринной разгрузки подземных вод снижаются до 0,3 л/с·км^2. Это связано прежде всего с крайне засушливым климатом юго-восточной окраины континента, где осадки не превышают 100 мм/год, а испарение резко возрастает. В этой части Южной Америки выделяется целый ряд артезианских структур, выполненных осадочными породами различного генезиса. Эти структуры обычно наследуют тектонические и эрозионные понижения в кристаллических метаморфических и вулканогенных породах докембрия. Только в пределах Бразильского плоскогорья насчитывается около 20 подобных артезианских бассейнов. Среди прибрежных артезианских структур, раскрытых в сторону Атлантического океана, следует отметить бассейны Потигуар, Алмада, Сантос, Пелотас, Сан-Пауло и др. Водосодержашими породами в осадочном чехле этих бассейнов являются песчаники, аргиллиты, алевролиты, вулканогенные образования и частично пески палеозой-мезозойского и четвертичного возраста. Литологический состав этих пород не способствует формированию значительных ресурсов подземных вод. Мощность зоны пресных вод здесь нередко достигает 1000 м. В связи с этим модуль ионного подземного стока колеблется от 2,5 до 13,5 т/год·км^2.

Подземный сток в Тихий океан с огромной горной системы Анд колеблется в широких пределах. Помимо зональных климатических факторов здесь большое влияние на условия формирования подземных вод оказывает высотная поясность. Большие уклоны местности, трещиноватость коренных пород и высокая проницаемость делювиально-пролювиальных образований способствуют активному питанию подземных вод. Модуль подземного стока на крайнем юге и севере Анд достигает 24–30 л/с·км^2, снижаясь в наиболее засушливых центральных районах практически до нуля. В связи с этим средние значения субмаринного подземного стока в северной части Анд достига-

ют 15 л/с·км^2, снижаясь в районе пустыни Атакама и затем опять возрастают до 11 л/с·км^2 в Патагонских Кордильерах. Подземные воды здесь связаны в основном с зоной экзогенной и тектонической трещиноватости кристаллических пород. Наиболее водообильные участки связаны с тектоническими нарушениями, а также с небольшими артезианскими структурами, выполненными четвертичными образованиями. Площадь таких артезианских структур в пределах перуанского побережья Тихого океана колеблется от 10 до 500 км^2. Мощность аллювиальных горизонтов достигает 150 м. Практически все подземные воды этих структур разгружаются непосредственно в океан. Воды пресные и ультрапресные, с минерализацией до 0,2–0,3 г/л. Суммарный ионный сток составляет 35,5 млн. т/год, его модули изменяются от 45 до 70 т/год·км^2.

Благодаря вытянутости Американского континента с севера на юг здесь наиболее отчетливо прослеживается широтная зональность в распределении удельных значений подземного стока в моря (рис. 4.3.4, 4.3.5). Это указывает на активное влияние на подземный сток климатических и общих физико-географических факторов, которые определяют потенциальную возможность питания подземных вод. Полученные значения субмаринного подземного стока зависят не только от указанных факторов, а в значительной степени определяются конкретными структурно-гидрогеологическими и гидродинамическими условиями водосборных бассейнов, фильтрационными и емкостными свойствами водовмещающих пород. Активное воздействие собственно геолого-гидрогеологических факторов может обусловливать азональные значения подземного стока в моря, которые наблюдаются в районах Миссисипской низменности, п-ова Флорида и Гвианского нагорья. Ионный подземный сток зависит от интенсивности субмаринного водного стока, выщелачивающей способности подземных вод, растворимости водосодержащих пород, процессов континентального засоления и

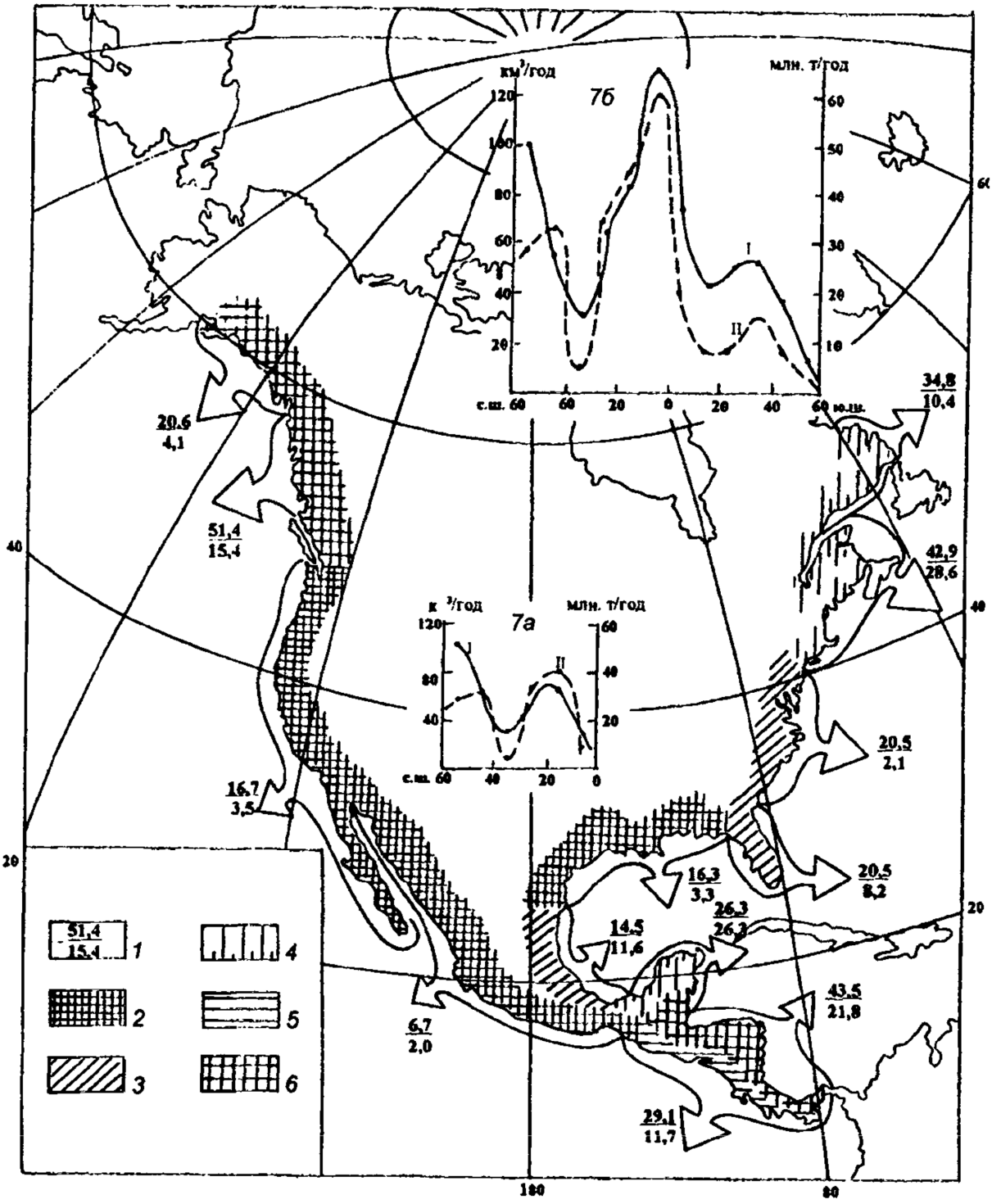


Рис. 4.3.4. Схематическая карта подземного стока в океан с территории Северной Америки

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км³/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км²: *2* – 1,0–2,5, *3* – 3,0–5,0, *4* – 5,0–7,0, *5* – 7,0–10,0, *6* – 10,0–15,0; *7а* – график распределение водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам; *7б* – то же суммарное с континентов Северной и Южной Америки

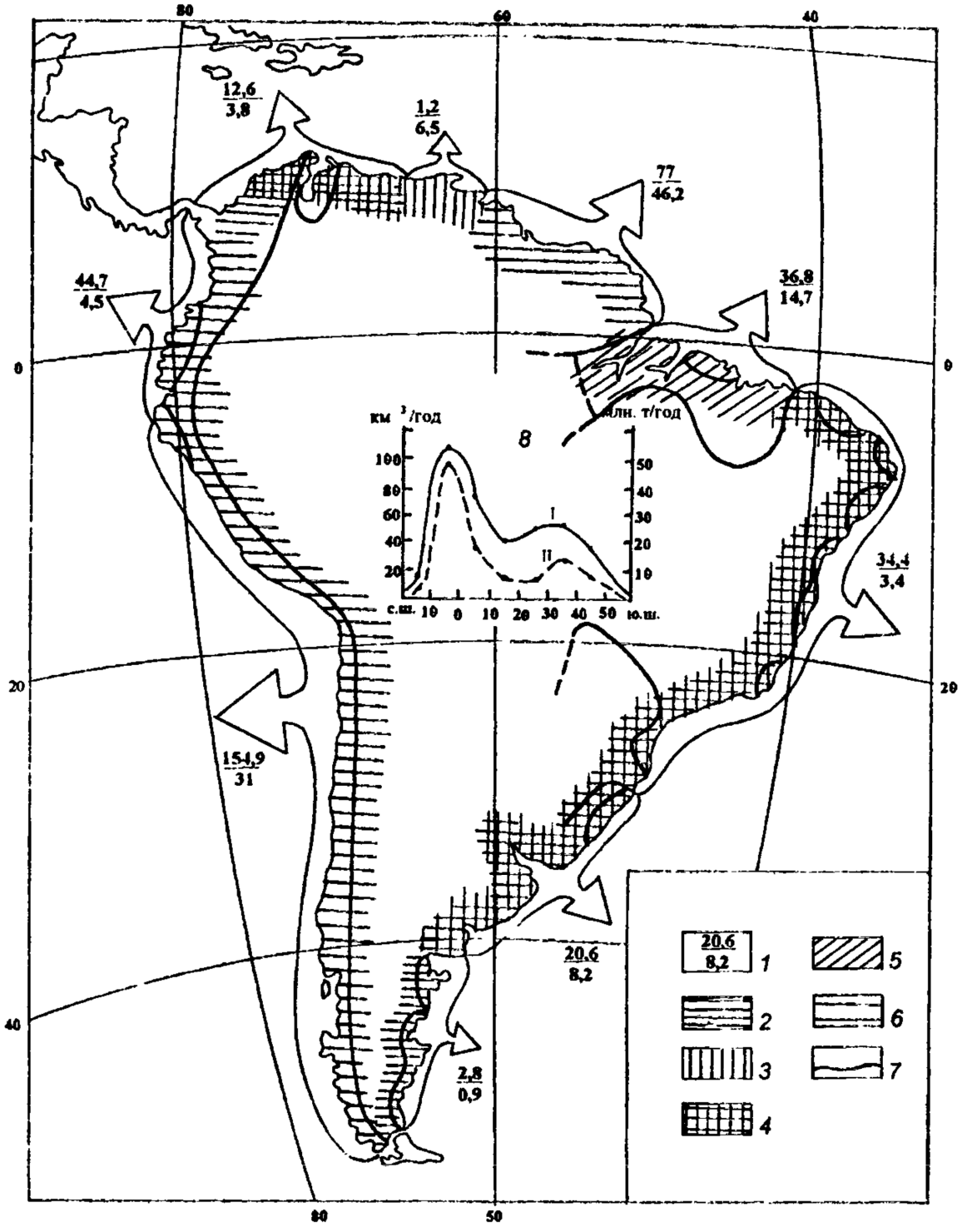


Рис. 4.3.5. Схематическая карта подземного стока в океан с территории Южной Америки

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км³/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км²: *2* – 0,2–0,4; *3* – 0,5–1,0; *4* – 1,0–2,6; *5* – 7,0–10,0; *6* – 10,0–15,0; *7* – границы гидрогеологических районов и артезианских бассейнов; *8* – график распределения водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам

других условий формирования химического состава подземных вод. В среднем модуль ионного подземного стока в пределах континента изменяется от 40 до 60 т/год·км^2, уменьшаясь в маловодных засушливых районах до 10 т/год·км^2 и менее. Наиболее высокими значениями ионного подземного стока (100–200 т/год·км^2) характеризуются влажные субтропические и тропические районы, где водоносные горизонты представлены легко растворимыми карбонатными породами.

Засушливый климат **Австралии** и преобладание равнинных пустынных территорий не способствуют формированию значительного подземного стока в океаны, суммарное значение которого с континента в целом не превышает 25 км^3/год. Удельные значения стока в Индийский океан редко достигают 0,5 л/с·км^2 (плато Кимберли) и обычно составляют 0,2–0,3 л/с·км^2. В то же время субмаринный сток в Тихий океан с водосборных площадей Большого Водораздельного хребта возрастает до 1 л/с·км^2, а в отдельных районах Австралийских Альп достигает 3 л/с·км^2. Такое распределение удельных значений субмаринного стока обусловлено прежде всего климатическими и орографическими факторами в пределах континента (рис. 4.3.6).

Экранирующее влияние Большого Водораздельного хребта вызывает увеличение количества атмосферных осадков на его склонах до 2000 мм/год, что способствует более активному питанию подземных вод. В структурно-гидрогеологическом отношении здесь выделяются крупные гидрогеологические массивы, сложенные трещиноватыми вулканогенными, метаморфическими и осадочными породами, а также несколько сравнительно небольших артезианских бассейнов, раскрытых в сторону Тихого океана. Наиболее крупными артезианскими структурами восточного побережья являются бассейны Сидней, Моретон-Кларенс и Лаура. Водовмещающими породами служат трещиноватые песчаники, аргиллиты и сланцы пермского и мезозойского возраста. В целом они отличаются низкими фильт-

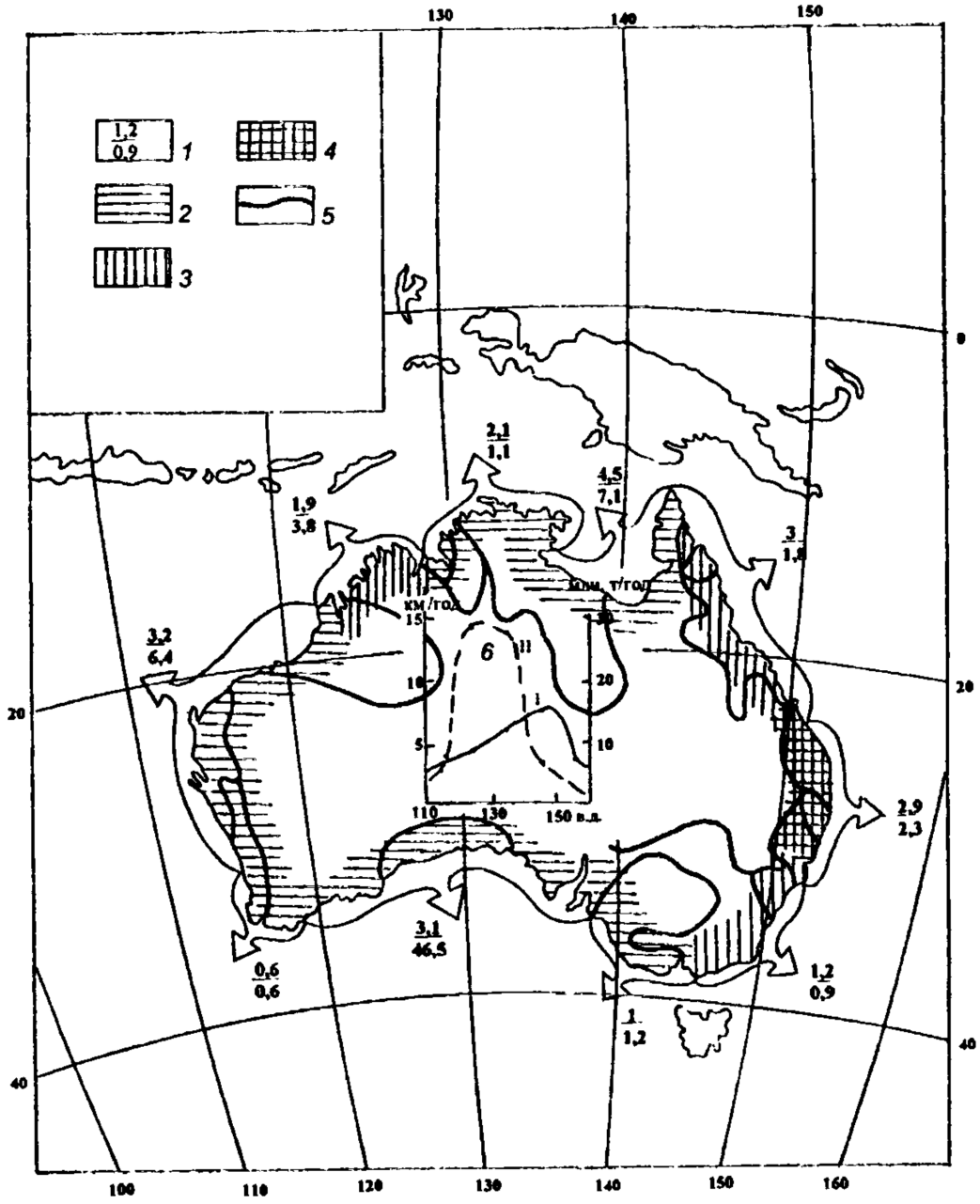


Рис. 4.3.6. Схематическая карта подземного стока в океан с территории Австралии

1 – подземный сток в океан: в числителе – общая величина, км^3/год, в знаменателе – ионный сток, млн. т/год. Площадной модуль подземного стока, л/с·км^2: *2* – 0,2–0,4, *3* – 0,5–1,0, *4* – 1,0–2,6; *5* – границы гидрогеологических районов и артезианских бассейнов; *6* – график распределения водного (I) и ионного (II) подземного стока в океан с континента по широтным зонам

рационными свойствами и слабой водообильностью. Подземные воды имеют пеструю минерализацию, которая обычно возрастает вниз по разрезу, и на глубине порядка 200–800 м непригодны

для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В верхней части разреза, где формируется основная часть субмаринного подземного стока, минерализация подземных вод обычно не превышает 1 г/л. В связи с изменчивой минерализацией подземных вод полученное суммарное значение ионного подземного стока (5 млн. т/год) можно рассматривать как нижний предел выноса солей с подземными водами в Тихий океан. Слабая растворимость водовмещающих пород и низкие значения стока обусловливают невысокие модули субмаринного ионного подземного стока, которые колеблются от 20 до 40 т/год·км^2.

Среди артезианских структур на побережье Индийского океана Австралии следует выделить бассейны Муррей, Юкла, Перт, Карнарвон, Кэннинг, Дейли-Джорджина и Карпентария. Бассейн Муррей в осадочном чехле содержит серию водоносных горизонтов от плейстоценового до эоцен-палеоценового возраста, представленных песками, песчаниками, известняками и мергелями. Суммарная мощность этих отложений 350–450 м. Основной дреной артезианского бассейна служит р. Муррей с ее многочисленными притоками, и только небольшая часть подземного стока направлена непосредственно в Большой Австралийский залив. Значительная часть этого субмаринного подземного стока перехватывается прибрежными заболоченными пространствами и расходуется на эвапотранспирацию. В связи с этим средний модуль субмаринной разгрузки подземных вод для всей прибрежной части артезианского бассейна не превышает 0,3 л/с·км^2. Минерализация подземных вод изменяется в широких пределах – от 1 до 35 г/л – и в среднем составляет 1,5 г/л. Модуль субмаринного ионного стока в среднем по бассейну не превышает 15 т/год·км^2.

Осадочный чехол бассейна Юкла, занимающего равнину Налларбор и п-ов Эйр, начинается пермскими и меловыми отложениями. Однако наиболее водообильный водоносный горизонт связан с эоцен-миоценовыми кавернозными известняками сум-

марной мощностью 150 м. Этот бассейн является типичным примером артезианских структур засушливых пустынных районов Австралии, когда потенциально водообильные хорошо проницаемые водоносные горизонты практически не получают питания, так как сумма атмосферных осадков не превышает 180 мм в год. В связи с этим субмаринный подземный сток составляет всего 0,2 л/с·км^2. Минерализация подземных вод быстро увеличивается с глубиной и в среднем составляет 15 г/л. Модуль ионного стока за счет высокой минерализации подземных вод достигает 75 т/год·км^2.

На побережье Западной Австралии выделяются артезианские бассейны Перт и Карнарвон. Изученность их весьма неравномерная. Только в районе крупных населенных пунктов скважинами пройдена серия водоносных горизонтов от четвертичного до мелового и пермского возраста. Они представлены песками, песчаниками и известняками с глубиной залегания 60–750 м. Сравнительно небольшое количество осадков (200–800 мм/год) не способствует формированию значительных ресурсов подземных вод. Наиболее обводненные зоны приурочены к современным и погребенным долинам постоянных и временных водотоков, подземный сток которых направлен непосредственно в Индийский океан. Слабое инфильтрационное питание, дренирующее воздействие местной эрозионной сети, засушливый климат на большей части территории приводят к незначительному субмаринному подземному стоку, который со всего западного побережья не превышает 0,2 л/с·км^2. Пресные воды распространены спорадически, в основном в пределах бассейна Перт. На остальной части территории их минерализация достигает 4–10 г/л.

Источниками солей, помимо водосодержащих пород, являются также атмосферные осадки, минерализация которых составляет 15–20 мг/л. В результате большого испарения соли накапливаются в почве и зоне аэрации и заселяют водоносные

горизонты. Суммарный ионный сток составляет 6,4 млн. т/год, его модуль – 10 т/год·км^2.

Расположенные на севере континента артезианские бассейны Дейли-Джорджина и Карпентария раскрыты в сторону залива Карпентария. Бассейн Дейли-Джорджина является одним из крупнейших в Австралии, занимает площадь 325 тыс. км^2. Отличительная его особенность – широкое развитие карстующихся карбонатных пород раннепалеозойского, преимущественно кембрийского возраста. Эти отложения в восточном направлении постепенно перекрываются карбонатными и терригенными породами нижнего мела. Суммарная мощность водоносных горизонтов неизвестна, наиболее глубокие скважины вскрывают их на глубине до 750 м. Бассейн не имеет ярко выраженных региональных областей питания. Карбонатные породы в целом не отличаются высокой водообильностью. Дебиты скважин обычно не превышают 2–3 л/с. Наиболее обводненная верхняя часть карбонатных пород интенсивно дренируется постоянными и временными водотоками. В связи с этим суммарный субмаринный подземный сток в среднем составляет 0,2 л/с·км^2. При этом субмаринная разгрузка подземных вод здесь обычно проявляется в виде сосредоточенных карстовых субмаринных источников с незначительным дебитом. Минерализация подземных вод изменяется в широких пределах – от 0,3 до 11 г/л.

Артезианский бассейн Карпентария является частью Большого артезианского бассейна, в пределах которого приподнятые зоны палеозойского фундамента образуют внутренние границы бассейнов второго порядка. Напорные водоносные горизонты связаны с осадочными породами мелового, юрского и триасового возраста суммарной мощностью до 2000–2500 м. Водосодержащие породы – обычно песчаники. Бассейн Карпентария практически не изучен. Отрывочные сведения свидетельствуют о том, что водоносные горизонты здесь слабоводообильны, а минерализация подземных вод колеблется от 1 до 6 г/л.

Суммарный ионный сток со всего побережья залива Карпентария немногим превышает 7 млн. т/год.

Анализ условий формирования подземного стока в Мировой океан в пределах основных континентов показывает, что этот глобальный процесс зависит от сложного сочетания различных природных факторов, среди которых основная роль принадлежит климату, рельефу и структурно-гидрогеологическим особенностям прибрежных территорий. Существенное воздействие на субмаринный сток оказывают также гидродинамика подземного потока, фильтрационные и емкостные свойства зоны аэрации и водовмещающих пород. Все эти факторы тесно связаны между собой и определяют условия питания, движения и разгрузки подземных вод в различных природных зонах. Подземный сток зависит от структуры приходных и расходных статей водного баланса водосборных площадей, которые в свою очередь определяются соотношением тепла и влаги как основного показателя природной физико-географической зональности. В связи с этим распределение удельных значений подземного стока в Мировой океан в глобальном масштабе подчиняется широтной физико-географической зональности. Они постепенно увеличиваются от субарктических районов до умеренной зоны, резко возрастают во влажных субтропиках и тропиках и снижаются в полуаридных и аридных районах (рис. 4.3.7). Местные орографические, геолого-структурные, гидрогеологические и гидрогеодинамические особенности прибрежных водосборных площадей усложняют эту общую картину распределения значений стока и иногда могут вызвать значительные их отклонения от характерных для данной широтной зоны средних значений. Однако азонально высокие или низкие значения субмаринного стока, связанные с экранирующим воздействием на атмосферную циркуляцию горных сооружений, широким развитием карста, дренирующим воздействием речных долин и с другими местными факторами, приурочены к локальным участ-

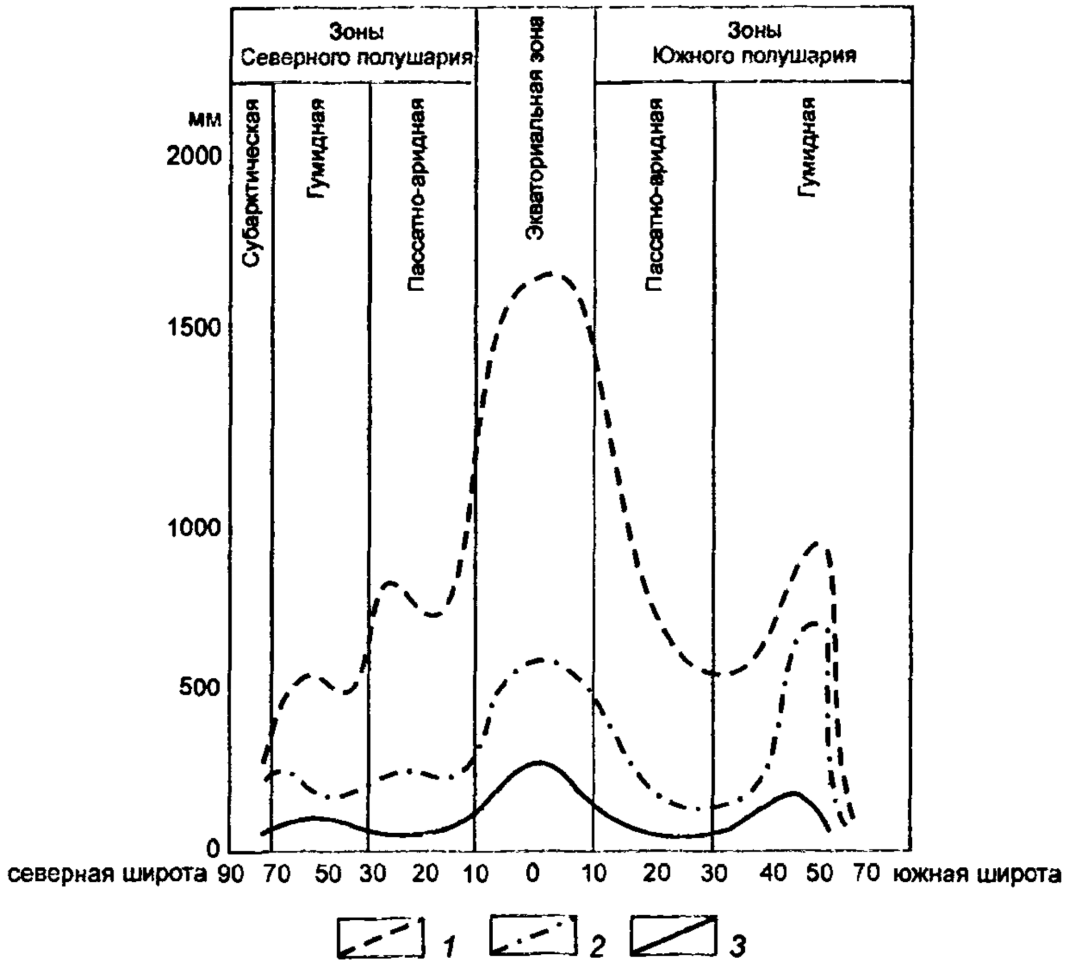


Рис. 4.3.7. Распределение атмосферных осадков поверхностного и подземного стока в Мировой океан по широтным зонам суши
1 – атмосферные осадки; *2* – поверхностный сток; *3* – подземный сток

кам побережий и в целом не нарушают общую зависимость подземного стока в Мировой океан от широтной физико-географической зональности.

В распределении значений субмаринного ионного стока также можно проследить зависимость от широтной физико-географической зональности, так как вынос солей с подземными водами определяется прежде всего субмаринной разгрузкой подземных вод. Средняя минерализация последних колеблется в пределах 0,3–2,5 г/л и лишь в редких случаях достигает 15–40 г/л. Поскольку в Мировой океан из верхней гидродинами-

ческой зоны выносятся в основном пресные и слабосолоноватые подземные воды, ионный сток в основном определяется широтной физико-географической зональностью распространения подземных вод. Повышенная минерализация подземных вод зависит прежде всего от наличия в разрезе соленосных пород, процессов континентального засоления, застойного режима фильтрации или слабой промытости водоносных горизонтов. Такие условия формирования химического состава подземных вод наиболее часто встречаются в пределах побережий Африки и Австралии, что приводит здесь на отдельных участках к аномально высоким значениям субмаринного ионного стока. Сложный характер распределения значений ионного стока указывает на то, что этот природный процесс в значительной степени усложняется геолого-гидрогеологическими палео- и современными условиями формирования подземных вод. Иными словами, региональное влияние широтной физико-географической зональности на распределение основных стокообразующих факторов нивелируется или осложняется на отдельных участках побережий конкретными условиями формирования химического состава подземных вод.

Исследования зональности подземных вод зоны интенсивного водообмена успешно развивались в различные годы В.С. Ильиным, Б.Л. Личковым, Г.Н. Каменским, О.К. Ланге, Б.И. Куделиным, М.И. Львовичем и другими гидрогеологами. В настоящее время представление о зональном распределении подземных вод в земной коре прочно вошло в региональную гидрогеологию. В результате проведенных исследований подземного стока в Мировой океан зональное распределение значений субмаринного водного и ионного стока получило количественное выражение в глобальном масштабе.

Полученные значения водного и ионного подземного стока в Мировой океан и основные закономерности этого сложного природного процесса, кратко описанные выше, позволяют счи-

тать выявленную широтную зональность субмаринного стока основой научного прогноза и изучения условий формирования подземного стока Земли в целом.

4.4. Подземный сток в крупные озера

Разгрузка подземных вод непосредственно в озера, минуя речную сеть, является компонентом водного баланса, который часто не учитывается, хотя и оказывает существенное воздействие на формирование водного и солевого режима озера. Количественная оценка притока подземных вод необходима прежде всего для обоснования мероприятий по управлению водными ресурсами, направленных на поддержание оптимального водного, солевого, теплового и гидробиологического режима в озерах.

Необходимость оценки водного и солевого баланса озер и прогноза изменений, вызванных активизацией техногенного воздействия на водоразделах, способствовала изучению взаимодействия подземных и озерных вод. Эти исследования осуществлялись и продолжают выполняться в настоящее время на ряде крупных озер бывшего СССР, на Великих озерах в Америке и в некоторых других странах. Ниже кратко излагаются результаты выполненных исследований, полученные прежде всего для озер бывшего СССР.

Подземный сток в озеро Байкал

Озеро Байкал является одним из крупных и глубоких континентальных пресноводных озер земного шара. Площадь акватории Байкала составляет 31,5 тыс. км^2, средняя глубина 730 м, максимальная – 1620 м, водозаборная площадь – 557 тыс. км^2.

Впадина озера Байкал является крупнейшей депрессией в пределах Байкальской рифтовой зоны. Она представляет собой мощный приразломный прогиб, сформировавшийся в результате растяжения. В гидрогеологическом отношении впадина озера Байкал – это межгорный артезианский бассейн, границы которого проводятся большей частью по вершинам окружающих горных хребтов, а на ряде участков – по выступам поверхности кристаллического фундамента, отделяющим его от соседних межгорных артезианских бассейнов. Важной гидрогеологической особенностью Байкальского артезианского бассейна является отсутствие на значительной площади зоны интенсивного водообмена, значительная тектоническая раздробленность и высокая сейсмичность, что в совокупности определяет условия и особенности пространственного распределения подземных вод и, в частности, природных условий формирования подземного стока в озеро.

В 50-х годах XX века впервые возникла проблема оценки подземного стока в Байкал; это было связано с расчётами среднемноголетнего водного баланса озера. При этом в отношении роли подземного стока на первых этапах были получены прямо противоположные результаты. Так, Б.С. Цейтлин (1959), рассчитав баланс за 1899–1955 гг., определил превышение расходной части над приходной (без учёта подземного притока) в 1,17 км^3/год. Эту невязку он связал с подземным оттоком из озера. Позднее З.А. Викулина и Т.Д. Кашинова (1973) удовлетворительно замкнули баланс 1901–1970 гг. без учета подземного притока и фильтрации из озера. Наконец, в 1976 г. А.Н. Афанасьев с коллегами на новой фактологической и методической основе осуществили переоценку водного баланса и показали, что полученная невязка (2,3 км^3 в год) может быть отнесена к подземному притоку в озеро. Число работ, в которых предпринимались попытки независимого определения подземного стока в Байкал, ограничено (Афанасьев, Диденко, 1976; Естествен-

ные ресурсы..., 1976; Писарский, 1973). В 1973 г. Б.И. Писарский на основе ограниченных данных по расчету подруслового стока рек Селенги, Безымянной (гидрогеодинамический метод) и Слюдянки (по детальному водному балансу) оценил подрусловой сток в Байкал в 1,03 км^3/год. А.Н. Афанасьев и А.А. Диденко (Афанасьев, Диденко, 1976) для восточного берега Южного Байкала рассчитали по данным опытных работ и 2–3-летних режимных наблюдений по 85 скважинам подземный сток в рыхлых кайнозойских отложениях, равный 0,58 км^3/год. К подрусловому стоку в Северный Байкал ими отнесены потери речного стока в рыхлых отложениях береговой полосы выше замыкающих гидрометрических створов, установленные для ряда рек при проведении гидрометрических съемок и оцененные в 0,76 км^3/год. Определив подземный сток с неизученной территории по аналогии, общий подземный сток в Байкал они оценили в пределах 3,15–3,78 км^3/год. В 1980–1981 гг. была обследована береговая полоса Байкала. В исследованиях использовалась аэрофотосъемка и аэровизуальные наблюдения прибрежной зоны и акватории, а также гидрометрические работы в меженный период на отдельных реках восточного побережья Северного Байкала. Были рассчитаны фильтрационные параметры рыхлых отложений и кристаллических пород по данным опытных работ и наблюдений за режимом уровня подземных вод. Подземный сток в оз. Байкал, как показывают результаты проведенных исследований, включает: подрусловой сток с междуречных пространств (минуя речную сеть), родниковый сток береговой полосы и субаквальный приток в акватории озера.

Подземный сток в озеро был рассчитан с использованием данных скважин, пробуренных в рыхлых отложениях крупных рек (Селенги, Верхней Ангары) и некоторых рек восточного побережья Байкала.

Для областей с дефицитом гидрогеологических данных использовали метод аналогий (в том числе для восточного побе-

режья Южного Байкала). В целом подрусловой сток в озеро Байкал, рассчитанный с помощью вышеописанных методов, составляет около 1 км^3 в год, т.е.1,5% общего речного стока в озеро.

Родниковый сток в озеро невелик. По периметру берегов выявлены единичные сосредоточенные родники с суммарным среднегодовым дебитом около 16 млн. м^3.

Согласно периодическим наблюдениям, родниковый сток в озеро Байкал оценивается в 63 млн. м^3/год. В него входят холодные и термальные источники, так же, как и воды подземного стока в низовьях Северного Байкала в виде высачиваемых потоков и мочажин. Необходимо заметить, что температура шести термальных источников, питающих Байкал на северном побережье, с суммарным дебитом 1,6 млн. м^3/год, превышает 80°С, что влияет на геотермальный и микробиологический режим озерной воды в прибрежной зоне.

Данные опытных работ показывают, что фильтрационные свойства кристаллических пород на прибрежных склонах исключительно низки. Поэтому можно сказать, что подземный сток в Байкал со склонов (минуя речную сеть) крайне ничтожен, в связи с чем им можно пренебречь.

Непосредственная разгрузка подземных вод в озеро ограничена активными зонами разлома, находящимися на дне Байкала. Установлено, что на дне озера разгружаются как пресные, так и высокоминерализованные термальные воды. Некоторые температурные аномалии в придонных водах, превышающие фоновые значения на 0,5°С, объясняются большой разгрузкой подземных термальных вод на значительной глубине. В некоторых донных отложениях на глубине от 200 до 900 м обнаружены аномальные концентрации сульфатов, хлоридов и натрия, превышающие фоновые в 2–4 раза и более (Мизандронцев, 1975). Подобные аномалии можно объяснить разгрузкой сильно термальных высокоминерализованных подземных вод. Субаквальный сток в озеро Байкал достигает 5 млн. м^3 /год.

Таким образом, суммируя данные учитываемых составляющих подземного стока в Байкал, находим, что общий подземный сток в оз. Байкал равен примерно 1,1 км^3/год, что составляет около 2% общего поступления воды в озеро.

Подземный сток в озеро Балхаш

Озеро Балхаш представляет собой крупнейший слабосолоноватый водоем Казахстана. Площадь его акватории равна 16,4 тыс. км^2, протяженность – около 600 км, а ширина колеблется от 5 до 71 км. Характерной особенностью озера является неоднородная минерализация. Воды Западного Балхаша (площадь 9,6 тыс. км^2) относительно пресные, с минерализацией 1–2 г/л; воды Восточного Балхаша (площадь 6,8 тыс. км^2) солоноватые, с минерализацией 3–5 г/л. В недавнем прошлом наблюдался спад уровня воды в озере, что объясняется интенсивной хозяйственной деятельностью в бассейне Балхаша, особенно с заполнением Капчагайского водохранилища.

Котловина оз. Балхаш занимает самое низкое гипсометрическое положение в пределах обширного водосборного бассейна площадью 400 тыс. км^2 и является конечным базисом стока поверхностных и подземных вод, формирующихся здесь.

Основными элементами приходной части водно-солевого баланса озера являются приток поверхностных вод, атмосферные осадки, выпадающие на площади акватории, и подземный сток. Основные расходные статьи баланса – испарение с водной поверхности и подземный отток. Подземный водообмен суши с озером происходит весьма сложно и играет большую роль в солевом балансе озера.

По геолого-гидрогеологическим условиям бассейн озера может быть разделен на две существенно различные части: северное Прибалхашье, охватывающее часть Джунгаро-Балхаш-

ской геосинклинали, сложенной скальными палеозойскими породами, и южное Прибалхашье – крупную впадину, выполненную мощной толщей рыхлых мезозойско-кайнозойских отложений. Котловина озера располагается на стыке этих двух структур.

Подземные воды северного Прибалхашья содержатся в трещиноватых палеозойских породах, местами дренируются временной орографической сетью, часто приуроченной к зонам тектонических разломов.

Гидрогеологические условия южного Прибалхашья определяются наличием артезианского бассейна, образованного серией водоносных горизонтов и комплексов юрского, мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возраста. В прибрежной зоне артезианский бассейн имеет блоковое строение вследствие наличия многочисленных разломов, по которым образовались глубокие грабены. Подземные воды глубоких горизонтов напорные, четвертичных отложений – обычно безнапорные.

Общий подземный сток, по расчетам различных авторов, колеблется от нуля до 3 км^3/год. Такой широкий диапазон значений обусловлен трудностями определения стока из-за сложности процессов его формирования в условиях высокой аридности климата (Ахмедсафин, Шапиро, 1970). На современном этапе изучения подземного стока в озеро выявлено, что сток грунтовых вод непосредственно в озеро формируется преимущественно в прибрежной зоне шириной 30–35 км (в пределах дельт рек) и происходит в виде концентрированных потоков с различным расходом (Подземные воды..., 1980).

Весьма важной особенностью взаимодействия грунтовых вод с озером является формирование депрессии их уровней вблизи озера. Наиболее крупная из них расположена в древней дельте р. Или в 30 км от берега озера (при отметке воды в озере 341 м). Абсолютный уровень грунтовых вод в этой депрессии, где глу-

бина залегания их достигает 8–12 м, оказался на 8–9 м ниже отметки воды в озере. Минерализация подземных вод в депрессии равна 7–10 г/л. Аналогичные депрессии, но меньшие по размеру отмечаются в низовьях впадающих в озеро рек Каратал, Токру и др. Формирование рассматриваемых уровней депрессий связывается нами с колебаниями уровня воды в озере, когда вследствие подпора в период трансгрессии наблюдается понижение уровенной поверхности грунтовых вод, а в фазу регрессии происходит ее выполаживание.

Оценка выноса в озеро растворенных в грунтовых водах веществ производилась на основе полученных значений линейных расходов грунтовых вод в озеро и сведений об их химическом составе.

Согласно выполненным расчетам (табл. 4.4.1), суммарный ионный грунтовый сток в озеро составляет 25,5 тыс. т/год, в том числе в Западный Балхаш 12 тыс. т/год, в Восточный – 12,7 тыс. т/год.

В фазу трансгрессии озера, продолжительностью 20–25 лет, когда отметка его уровня превышает 341 м, в прибрежной зоне формируется обратный уклон грунтового потока, обеспечивающий отток озерной воды в берега. Наибольший отток отмечается на участках неглубокого залегания грунтовых вод, в дельтах рек и других понижениях рельефа. Расход подземного потока из озера, определенный по уравнению Дарси, в пределах южного побережья оценивается в 28 млн. м^3/год. Из них из Западного Балхаша только по низкому южному берегу отток составляет 19,1 млн. м^3/год (2 л/с·км), из Восточного – 8,9 млн. м^3/год (0,89 л/с·км).

На основе значений подземного оттока из озера и средней минерализации воды в различных районах акватории на период ненарушенного естественного режима озера, оценен вынос солей из озера. Эта величина составила в целом для озера 41,8 тыс. т/год. Для Западного Балхаша при средней минера-

Таблица 4.4.1

Ионный подземный сток в оз. Балхаш

Потоки	Подземный сток, $м^3$/год	Среднее содержание растворенных веществ в подземных водах, г/л
Западный Балхаш		
Дельты р. Или	0,8	1,8
Трещинных вод северо-западного Прибалхашья	5,2	2,0
Зон разломов	1,01	1,0
Всего	7,0	
Восточный Балхаш		
Долин рек Каратал, Аксы, Лепсы	2,3	0,8
Трещинных вод	4,3	2,0
Зон разломов	2,2	1,0
Всего	8,8	
Всего для Балхаша	15,8	

лизации 1,1 г/л вынос солей составляет 21 тыс. т/год, для Восточного при средней минерализации 2,3 г/л – 20,8 тыс. т/год. Это примерно в 1,6 раза больше поступления солей с грунтовыми водами. За весь период трансгрессии общее количество выносимых солей составит около 1 млн. тонн.

В фазу регрессии отток из озера прекращается. Приток подземных вод в этот период в котловину озера равен 0,104 $км^3$/год. Соответственно изменяется и солевой баланс. Вследствие того что минерализация грунтовых вод побережья значительно выше (в среднем 5 г/л) минерализации озерной воды, участвующей в оттоке, дополнительный привнос солей с грунтовыми водами составит примерно 0,14 млн. т/год. Однако это количество солей, так же как и дополнительный сток, поступает не в акваторию озера, а в его обсохшее дно, увеличивая его засоленность.

Оценка поступления напорных вод в озеро производилась на основе расчетов вертикального перетекания подземных вод через слабопроницаемые отложения дна озера под действием гидростатического напора. Общая разгрузка напорных вод, поступающих с Южно-Прибалхашского бассейна в дно озера, а также разгрузка напорных вод низовий долин рек Аягуз, Токрау составляет 0,06 $км^3$/год, в том числе в Западный Балхаш –

таблица 4.4.1 (окончание)

Вынос растворенных веществ, т/год	Удельный расход подземных вод, л/с·км^2	Удельный вынос растворенных веществ, г/л·км
	Западный Балхаш	
1410	0,09	0,15
10400	0,54	1,08
1000		
12800		
	Восточный Балхаш	
1910	0,23	0,19
8600	0,43	0,86
2200	–	–
12700		
25000		

0,035 км^3/год, в Восточный – 0,025 км^3/год. Модули разгрузки напорных вод в акватории озера в среднем составляют около 0,11 л/с·км^2.

Вынос растворенных веществ напорными водами при их средней минерализации 18 г/л составляет 1,08 млн. т/год, из них в Западный Балхаш 0,63 млн. т/год, в Восточный – 0,45 млн. т/год.

Таким образом, общий подземный сток грунтовых и напорных вод в котловину оз. Балхаш при его естественном режиме оценивается в 104 млн. м^3/год, а вынос растворенных веществ подземными водами составляет 1,245 млн. т/год. Непосредственно в акватории озера разгружается около 0,08 км^3/год подземной воды, а вынос растворенных веществ равен 1,1 млн. т/год. Это составляет соответственно примерно 0,5% притока поверхностных вод и около 26% привноса солей поверхностными водами.

Подземный сток в Каспийской море

Основная проблема Каспийского моря связана со значительными изменениями его уровня. За последние 15 лет уровень воды

в этом крупнейшем в мире внутреннем озере поднялся почти на два метра. Так как колебания уровня воды в озере наносят значительный экономический ущерб, необходимо определить и предпринять меры для поддержания оптимального водно-солевого режима в озере, и, следовательно, оптимального уровня воды.

В середине прошлого века было проведено множество исследований, посвященных оценке подземного стока в Каспийское море. Анализ этих исследований проведен И.С. Зекцером с коллегами (1972). Однако, по данным различных авторов, значения объема подземного стока в Каспийское море различались более чем в 150 раз (от 0,3 до 49,3 км^3/год) из-за недостаточной надежности методов, использовавшихся для оценки, и нехватки достоверных гидрогеологических данных для независимых расчетов. Ниже приведены результаты оценки подземного стока в Каспийское море гидродинамическим методом (Зекцер и др., 1984).

Впадина, в которой расположено Каспийское море, вытянута в меридиональном направлении, имеет длину около 1200 км и ширину около 320 км. При современном положении длина береговой линии Каспийского моря составляет около 7000 км.

В акватории Каспийского моря выделяют три впадины: северную, среднюю и южную. Северная впадина (Северный Каспий) представляет собой мелководную часть моря с глубинами около 5 м, площадь ее около 80 тыс. км^2. Средняя впадина (Средний Каспий) представляет собой асимметричную котловину с крутым западным и пологим восточным склонами; максимальные ее глубины (до 788 м) находятся в Дербентской впадине у западного берега. Площадь Среднего Каспия 138 тыс. км^2. Южная впадина (Южный Каспий) также асимметрична, с крутыми западными и южными берегами. Максимальная глубина здесь в Куринской впадине достигает 1025 м. Благодаря большой глубине Южный Каспий заключает в себе около 2/3 всей воды моря.

В Каспийское море впадает более 100 рек. Наиболее крупные реки – Волга, Урал и Терек – впадают в Северный Каспий, причем на долю Волги приходится 83% всего речного стока. Среднемноголетний сток рек в Каспийское море составляет 285,3 км^3/год или 790 мм/год.

Для подсчета подземного стока в Каспийское море гидродинамическим методом использовались данные более 3800 скважин, пробуренных по всей береговой зоне. Для всех основных водоносных горизонтов были составлены карты уровней поверхности и водопроницаемости. Общий подземный сток в море по выделенным водоносным горизонтам и комплексам на протяжении всей береговой линии Каспийского моря определялся с использованием основной расчетной зависимости Дарси для расхода подземного потока. При этом основные гидрогеологические параметры не осреднялись в пределах значительных площадей, а снимались непосредственно с соответствующих гидродинамических карт.

Расчеты расхода потока были выполнены по лентам тока с однородными гидрогеологическими условиями; ширина выделенных лент не превышала 30 км. Оцененный таким образом общий подземный сток в Каспийское море составил 3,2 км^3/год. Установлено, что основной подземный сток в Каспий формируется на западном побережье из-за благоприятных физико-географических и геолого-гидрогеологических условий (значительное количество осадков, высокая проницаемость крупнозернистых терригенных и трещиноватых пород). На восточном побережье подземный сток незначителен из-за сухого климата, низких фильтрационных свойств водоносных пород побережья и малого градиента пьезометрической поверхности подземных вод.

Анализ условий формирования подземного стока в Каспийское море показывает, что в пределах западного, восточного и северного его побережий природные факторы оказывают раз-

личное влияние на субмаринную разгрузку подземных вод. Так, на западном побережье, которое характеризуется в целом благоприятными климатическими и геоморфологическими условиями питания подземных вод, основное влияние на подземный сток непосредственно в море оказывают геолого-литологические и гидродинамические факторы. Значительная часть подземной составляющей здесь формируется из сравнительно глубоких водоносных горизонтов, характеризующихся высокой водообильностью, хорошими фильтрационными свойствами, значительными напорами и уклонами пьезометрической поверхности в сторону моря. Подобные условия формирования субмаринного подземного стока характерны, вероятно, и для иранского побережья, отличающегося большим количеством атмосферных осадков и благоприятными условиями их инфильтрации.

На восточном и северном побережье Каспийского моря подземный сток формируется в основном под воздействием климатических и геоморфологических факторов. Небольшое количество атмосферных осадков, высокая испаряемость и залегание с поверхности на значительных площадях слабопроницаемых отложений создают неблагоприятные условия для питания подземных вод и формирования регионального подземного стока. Существенное воздействие на сток подземных вод оказывают многочисленные глубокие бессточные впадины (соры) и эрозионные врезы временных водотоков, которые перехватывают подземный поток. На этом общем фоне выделяется район Мангышлакского артезианского бассейна, где существенную роль также играют процессы карстообразования. Закарстованные и трещиноватые известняки сарматского водоносного комплекса здесь аккумулируют большую часть атмосферных осадков, что обуславливает сравнительно высокий подземный сток из этих отложений в море.

Разгрузка подземных вод в пределах акватории и прибрежной части суши происходит в основном за счет процессов пере-

текания снизу вверх через разделяющие слабопроницаемые слои. Об этом свидетельствует, в частности, увеличение напоров подземных вод с глубиной их залегания в прибрежной части, выполаживание пьезометрической поверхности всех водоносных комплексов по мере приближения к береговой линии и ухудшение фильтрационных свойств водовмещающих пород в том же направлении. Площадная разгрузка подземных вод перетеканием не исключает концентрированных выходов их на дне моря в виде субмаринных источников в районах тектонических нарушений и обнажения коренных пород. Количественная оценка процессов перетекания показывает, что они могут определять динамику целых артезианских бассейнов или крупных их частей. В связи с этим была проведена оценка взаимосвязи водоносных комплексов и перетекания подземных вод в пределах прибрежной полосы суши и моря и выполнено сопоставление полученных значений вертикальной разгрузки с общим значением подземного стока в море, определенным по зависимости Дарси. Разгрузка инфильтрационных подземных вод перетеканием через слабопроницаемую кровлю водоносных горизонтов в морские донные отложения происходит в той части моря, где пьезометрические уровни водоносного комплекса располагаются настолько выше уреза морской воды, что существует необходимый напорный градиент для вертикальной фильтрации подземных вод. В прибрежной полосе, как правило, развиты водоносные системы с прямым соотношением напоров, когда нижележащие водоносные горизонты разгружаются в вышележащие и затем суммарный вертикальный поток дренируется морем.

Выделение прибрежной части моря, где процессы перетекания инфильтрационных подземных вод наиболее интенсивны, производилось методом экстраполяции пьезометрических профилей каждого комплекса до абсолютной отметки уровня моря. Однако из-за неточности экстраполяции граница наиболее интенсивной разгрузки подземных вод в акватории моря является

условной. Процессы перетекания, видимо, происходят на более значительных площадях, но наибольших своих значений они достигают именно в пределах выделенных зон прибрежной полосы. Эта условная граница субмаринной разгрузки подземных вод перетеканием на западном побережье находится на расстоянии от береговой линии от нескольких километров для древнечетвертичного водоносного комплекса до ста километров для сарматского водоносного комплекса. На восточном побережье эта полоса расширяется в некоторых местах до 120 км для сарматского и нижележащих водоносных комплексов.

Проведенная количественная оценка взаимосвязи водоносных комплексов показывает, что основная разгрузка подземных вод перетеканием происходит в пределах суши, где модули вертикального потока колеблются от единиц до 0,5 л/с·км^2, постепенно снижаясь по направлению к морю до 0,2 л/с·км^2. Это вызвано тем, что в районах, прилегающих к областям питания или близких к ним, водоносные комплексы наиболее водообильны и обладают значительным напорным вертикальным градиентом, а разделяющие их слабопроницаемые слои маломощны и опесчанены. Коэффициент перетекания здесь составляет $5\cdot10^{-5}$–$5\cdot10^{-6}$ л/сут, а вертикальный расход достигает нескольких десятков тысяч кубических метров в сутки с площади расчетной ячейки 100 км^2. Следовательно, по мере приближения к береговой линии основная часть подземного потока разгружается как за счет процессов площадного перетекания, так и в результате его естественного и искусственного дренирования.

В связи с этим к морю подходит сравнительно маломощный поток подземных вод, разгрузка которого, как показали проведенные расчеты, возможна за счет процессов перетекания в пределы выделенных ранее площадей акватории. Здесь модули вертикального потока изменяются от 0,2 до 0,1 л/с·км^2, постепенно снижаясь к условной границе выделенных площадей до 0,05 л/с·км^2. Коэффициенты перетекания здесь, как правило, не

превышают $1 \cdot 10^{-6}$ л/сут, снижаясь на отдельных участках до $1 \cdot 10^{-7}$ л/сут. Это свидетельствует о значительной мощности и глинистости разделяющих слоев. Общая разгрузка напорных подземных вод перетеканием в прибрежной части моря, охваченной расчетами, составляет около 1 км^3/год (рис. 4.4.1).

По всему периметру моря, разделенному на 15 расчетных участков со сходными гидрогеологическими свойствами и рассчитанными параметрами, и близкими значениями солености подземных вод в выделенных водоносных горизонтах, разгружающихся в море, была выполнена оценка поступления в Каспий растворенных веществ. Общее количество выноса солей в море с подземными водами составляет 23 млн. т/год. Таким образом, несмотря на то, что подземный сток в Каспий незначителен и составляет всего около 1–2% от притока поверхностных вод, вынос растворенных веществ с подземными водами составляет 27% от поступления растворенных веществ с поверхностными водами. Это обстоятельство крайне важно учитывать при изучении гидрохимического и гидробиологического режима Каспия (Джамалов и др., 1977; Зекцер и др., 1972, 1984).

В последние годы в поисках причин колебаний уровня моря некоторые исследователи обратили внимание на геологические факторы формирования его баланса и режима, такие как тектонические движения, современный вулканизм, землетрясения. Однако влияние указанных "подземных" факторов на формирование режима и баланса Каспийского моря изучено чрезвычайно слабо, лишь в работе (Шико, 1989) впервые поставлен вопрос о возможном влиянии современных геодинамических процессов на водный режим моря.

Рассматривается также возможное влияние грязевого вулканизма на водно-солевой режим Каспийского моря.

По результатам морфометрической съемки дна Каспийского моря зарегистрировано 142 действующих грязевых вулкана (Якубов и др., 1983). Как правило, эти образования приурочены к

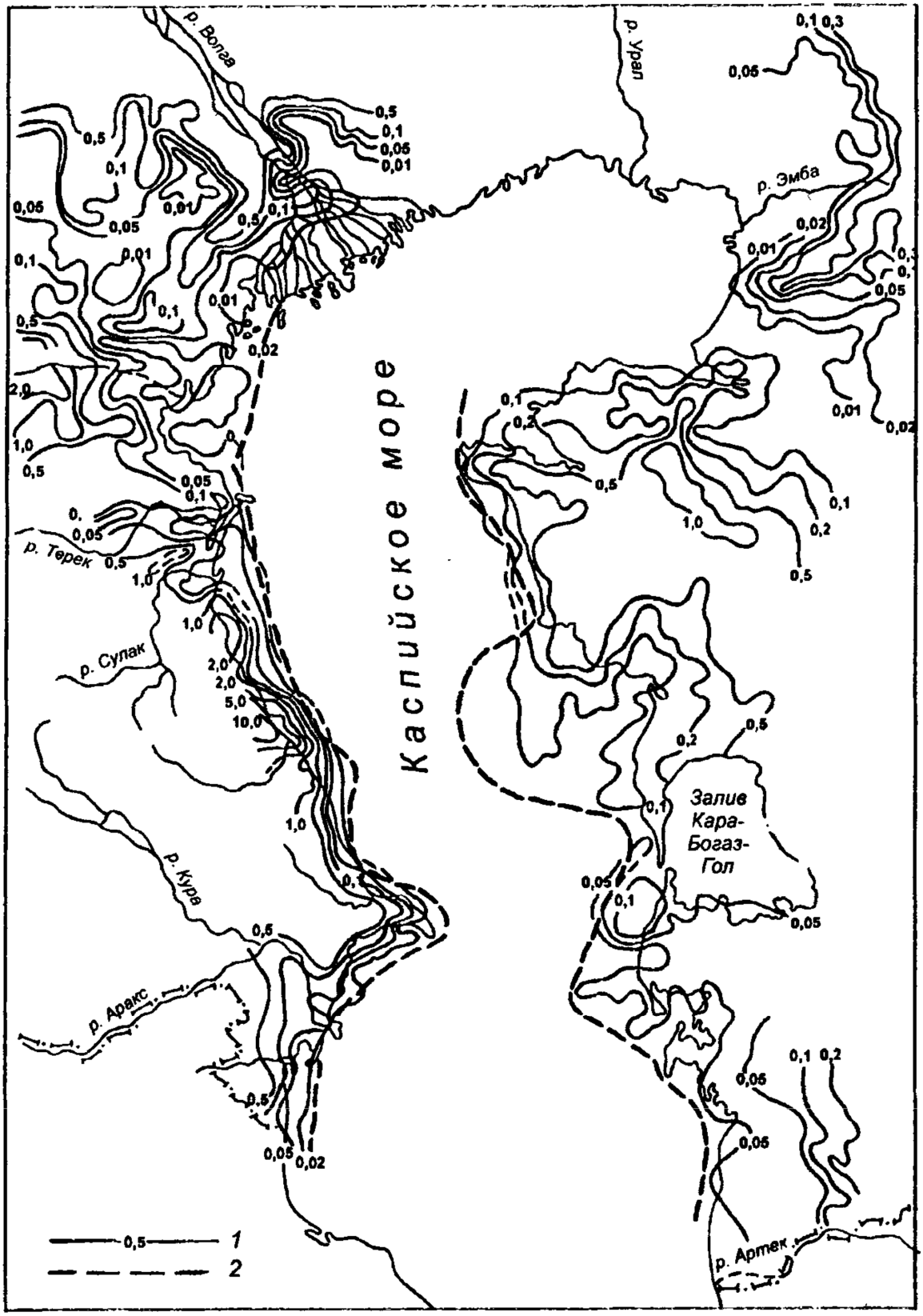


Рис. 4.4.1. Карта вертикальной разгрузки напорных вод

1 – изолиния модуля вертикальной разгрузки напорных подземных вод, л/с·км^2; *2* – условная граница области субмаринной разгрузки напорных подземных вод в море

зонам тектонических нарушений. В частности, в районе Апшеронского порога грязевые вулканы вытянуты цепочкой вдоль Апшероно-Прибалханского разлома. На несомненную связь подводных грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины с глубинными разломами указывалось в (Кулакова, Лебедев, 1983). Все это позволяет рассматривать подводные грязевые вулканы в качестве отдельных источников субаквальной разгрузки подземных вод глубоких обводненных пластов, характеризующихся затрудненным водообменом.

Н.Ф. Глазовским с соавторами (1976) было показано, что общий объем воды, поступающий в море из жерл грязевых вулканов в период спокойной стадии (при дебите исследованных грифонов и сопок 0,05–0,5 л/мин), оценивается величиной 0,001 км^3/год; в период сильных извержений (при частоте не более двух извержений в год) объем воды достигает 0,01 км^3; количество солей, поступающих вместе с водами грязевых вулканов в море, составляет $2 \cdot 10^5$ т/год.

Исследования подводных грязевых вулканов Южно-Каспийской впадины затруднены из-за больших глубин (от первых десятков до 800 м и более), а отсутствие специальных методических рекомендаций и соответствующей измерительной аппаратуры не позволяет фиксировать с достаточной точностью количество эруптивной воды. Об интенсивности их деятельности лишь косвенно можно судить по высоте конуса сопочной брекчии, которая варьирует (от 0,5 до 500 м и более). Вместе с тем в настоящее время накоплен достаточный материал о действующих наземных грязевых вулканах, который можно экстраполировать по аналогии на подводные грязевые вулканы. Это позволяет выполнить предварительную оценку поступления воды и растворенных веществ в море из подводных грязевых вулканов.

Выполненные исследования (Зекцер и др., 1994) показали, что роль грязевулканической деятельности в общем водном ба-

лансе Каспия невелика, однако ее влияние на химический состав морской воды и образование аномальных гидрохимических зон достаточно заметно. Вынос растворенных веществ грязевыми вулканами составляет от 2,8 до 9,3% суммарной величины поступления солей в Каспийское море с речным стоком.

Подземный сток в озеро Иссык-Куль

Озеро Иссык-Куль расположено вблизи северного Тянь-Шаня и представляет собой крупнейший водоем гористой местности.

Подземные воды бассейна озера заключены в отложениях различного возраста, которые образуют Иссык-Кульский артезианский бассейн.

Для количественной оценки подземного стока было выделено несколько типичных по гидрогеологическим условиям районов в береговой зоне Иссык-Куля. В 69 точках были размещены фильтрометры для измерения скорости фильтрации подземных вод в донные отложения озера. В 16 точках было проведено вертикальное зондирование донных отложений для определения температуры и проводимости. Согласно существующим зависимостям, было рассчитано распределение солености в подземных водах, просачивающихся сквозь донные отложения. В 9 точках было изучено вертикальное распределение гидростатического давления в отложениях, насыщенных подземными водами (Месхетелли, 1987). Для химического и изотопного анализа из фильтрометров были взяты образцы разгружающихся подземных вод. Также по 27 линиям с борта специально оборудованного научно-исследовательского судна было проведено сейсмоакустическое профилирование, позволившее получить геологический разрез донных отложений и установить распределение температуры и солености в придонном слое воды в озере.

Полученные результаты позволили создать детальную схему разгрузки подземных вод в озеро. Выполненные гидрогеологические исследования озера Иссык-Куль позволили определить модуль подземного стока в озеро из всех водоносных слоев. Величина разгрузки подземных вод из верхнего гидрогеологического слоя оценена гидродинамическим методом.

Разгрузка подземных вод в озеро из среднего гидрогеологического слоя для каждого региона была оценена как разность общей величины подземного притока в озеро, определенного экспериментальным путем, и величины стока, найденной гидродинамическим методом для верхнего слоя. Измерения, проведенные как на поверхности земли, так и в самом озере позволили определить химический состав подземного стока внутри каждого региона.

Результаты расчетов подземного водного и ионного стока в озеро представлены в таблице 4.4.2. Гидрогеологические районы выделены Г.М. Бергельсоном с соавторами (1986).

Согласно этим данным подземный сток в Иссык-Куль составляет 1,5 км^3 в год. Подземные воды переносят в озеро около 750 тысяч тонн растворенных солей в год. По сравнению с поверхностным стоком, подземные воды поставляют в озеро 60% хлоридов, 62% сульфатов, 44% бикарбонатов, 70% натрия и калия, 49% кальция, 79% магния, а также большое количество микроэлементов.

Необходимо отметить, что подземные воды приносят в озеро загрязнители. Это происходит потому, что зона аэрации побережья и водоносные горизонты представлены в основном галечниковыми и обломочными отложениями, что облегчает проникновение загрязненных поверхностных вод в водоносные слои. Значительный подземный сток, таким образом, может привести к загрязнению озера. В пределах водосборной площади озера расположены фермы и заводы, которые могут быть источниками загрязнения. Рассредоточенный характер поступления

Таблица 4.4.2

Перенос подземными водами растворенных солей в оз. Иссык-Куль

Гидрогеологический район	Разгрузка подземных вод, $м^3/с$	Разгрузка растворенных твердых веществ, кг/с										
		Всего	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	$(Na+K)^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	H_4SiO_4
I	31,7	11,4	0,59	1,57	5,84	0,77	1,89	0,49	0,01	0,02	0,0003	0,40
II	8,1	2,9	0,14	0,40	0,73	0,13	0,25	0,09	0,001	0,006	0,0001	0,03
III	5,9	4,2	0,87	1,1	2,68	0,94	1,40	1,54	0,002	0,054	0,0002	1,62
IV	1,6	0,9	0,028	0,062	0,17	0,057	0,05	0,01	0	0,005	0	0,02
Всего	47,3	19,4	1,63	3,13	9,42	1,89	3,59	2,13	0,013	0,085	0,0005	2,07

Таблица 4.4.3

Микроэлементы, поступающие с подземными водами в оз. Иссык-Куль

Гидрогеологический район	Разгрузка растворенных твердых веществ (ионов), г/с												
	Fe	Cu	Zn	Pb	As	Mo	Ni	Co	I	Br	F	Mn	P
I	3,8	0,36	0,78	0,028	0	0,014	0,005	0	0,19	0,19	5,8	0,034	0,35
II	0,21	4,5	13	0	-	-	-	-	-	-	0,39	-	0,24
III	0.90	0,031	0,065		0	0,023	0	0	0	0	5,9	0,04	0,10
Всего													
(г/с)	4,9	4,8	13,9	0,028	0	5,4	0,05	0	0,19	0,19	11,2	0,074	0,69
(т/год)	155	151	438	0,88	0	170	170	-	6	6	350	350	22

загрязнителей в озеро затрудняет контроль за составом подземных вод, разгружающихся в озеро, и наличием в них загрязнителей, которые могут негативно повлиять на качество воды Иссык-Куля.

Ежегодно с подземными водами в озеро поступает около 18 т нефтепродуктов, 10 т синтетических поверхностноактивных веществ и 0,6 т сельскохозяйственных химикатов.

Общее поступление в озеро растворимых в подземных водах веществ составляет 19,4 кг/с (при общем подземном стоке около 1,5 км^3/год), в том числе гидрокарбонатов – 9,4, кальция и магния – 5,7, сульфатов – 3,1 кг/с.

В таблице 4.4.3 приведены результаты ориентировочных расчетов выноса микроэлементов и некоторых загрязнителей с субаквальным подземным стоком в озеро Иссык-Куль.

Как видно из вышеизложенного, несмотря на относительно небольшое количество подземных вод, поступающих в озеро, их влияние на солевой состав и качество озерной воды весьма значительно и сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. В целом, подземный сток составляет 30–40% от общего поступления воды в озеро с речным стоком. Подземные воды приносят в озеро более 50% от общего количества растворенных веществ (Бергельсон и др., 1986).

Глава 5

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и окружающей среды

В одной книге, а тем более в главе ограниченного объема, невозможно даже назвать основные примеры взаимосвязи загрязнения подземных вод и загрязнения окружающей среды. Некоторые конкретные примеры приведены в следующем разделе, в котором характеризуется современное положение с загрязнением подземных вод в России. Здесь же отметим, что содержание в подземных водах нефтепродуктов, фенолов, нитратов и других компонентов на отдельных участках превышает их предельно допустимые концентрации в десятки и даже сотни раз. Региональное загрязнение подземных вод часто обусловлено влиянием кислотных дождей и атомных станций.

Загрязнение может оказаться на первом месте в ряде причин, усугубляющих водный кризис. Только около пяти процентов промышленных и хозяйственных отходов, производимых в городах развивающихся стран, подвергаются любому виду обработки. Остальные, включая большую часть из двух миллионов тонн человеческих экскрементов, производимых ежедневно, и все токсичные и опасные побочные продукты промышленного

производства сбрасываются и загрязняют почвы, реки и водоносные горизонты.

Загрязнение подземных вод в подавляющем числе случаев является прямым следствием загрязнения окружающей среды. Практически любое вмешательство человека в природу и любой вид хозяйственной деятельности (гидротехническое и гражданское строительство, разработка месторождений полезных ископаемых, вырубка леса, внесение удобрений в почву и др.) неизбежно сказывается на качестве и ресурсах подземных вод. Поэтому загрязнение подземных вод, и, главное, вопросы охраны подземных вод от загрязнения, тесно связаны с общей проблемой охраны окружающей среды и являются ее составной частью.

Разнообразная хозяйственная деятельность приводит к значительным изменениям условий формирования ресурсов подземных вод, вызывая во многих случаях их истощение и загрязнение. Серьезную опасность представляет и захоронение вредных токсичных стоков в глубокие водоносные горизонты. Подземные воды загрязняются в основном сульфатами, хлоридами, соединениями азота (нитраты, аммиак, аммоний), нефтепродуктами, фенолами, соединениями железа, тяжелыми металлами (медь, цинк, свинец, кадмий, ртуть). Так, например, интенсивное антропогенное воздействие на природу в южной Калифорнии, определяемое разработкой нефтяных месторождений, сбросом рассолов в водоносные горизонты, интенсивным применением пестицидов и других удобрений, привело к повышенному содержанию мышьяка (до 0,03–0,04 мг/л) в подземных водах.

Наиболее опасным и, к сожалению, широко распространенным видом загрязнения окружающей среды в целом и подземных вод в частности является нефтяное загрязнение. Нефтяное загрязнение окружающей среды проявляется не только в районах нефтедобычи и нефтепереработки, но и в районах нефте-

хранилищ и нефтепроводов. По данным американских специалистов около 50% нефтехранилищ в США имеют утечки. Значительные с точки зрения загрязнения подземных вод утечки происходят почти на всех многочисленных бензоколонках. Нефтяное загрязнение часто проявляется тогда, когда оно уже достигло катастрофического уровня, что делает его еще более опасным. Опыт работ, проведенных в различных странах СНГ (Россия, Украина, Казахстан, Узбекистан) показывает, что почти все объекты нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности в той или иной степени являются источниками загрязнения окружающей среды (Боревский и др., 1994).

Мировой опыт свидетельствует о том, что результаты работ по очистке среды от загрязнения нефтепродуктами совершенно не соответствует масштабам предпринимаемых усилий и финансовым вложениям. Особенно показательные в этом отношении работы, проведенные в США на объектах "Суперфонда", где ни в одном случае, несмотря на многомиллиардные затраты, поставленная цель полной реабилитации среды так и не была достигнута. Причиной этого являются прежде всего, нереальные цели этих работ – полностью очистить окружающую среду от уже сформировавшегося устойчивого нефтяного загрязнения.

Анализ опыта восстановления окружающей среды (речь идет прежде всего, конечно, о геологической среде) на нескольких сотнях объектов показывает, что целью реабилитационных работ должна быть защита от загрязнения тех или иных объектов, в первую очередь водных (питьевые водозаборы, поверхностные водоемы и водотоки), так, чтобы не был превышен уровень, безопасный для населения и среды обитания. Именно на это должна быть направлена стратегия борьбы с нефтепродуктовым загрязнением водоносных горизонтов (Боревский и др., 1996).

Источником длительного отрицательного воздействия на окружающую среду являются свалки разнообразных отходов. Для

примера укажем, что в Германии имеются около 40 тыс. свалок, в России – 38 тыс. свалок. Только в горной промышленности скопилось свыше 45 млрд. т отходов. В г. Москве в настоящее время существует 150 старых и 100 новых свалок. Свалки отходов, часто расположенные в неблагоприятных гидрогеологических условиях (при отсутствии подземных водоупоров, защищающих водоносный горизонт), загрязняют пресные подземные воды и в ряде случаев значительно ограничивают их использование для питьевого водоснабжения.

Охрана подземных вод от загрязнения должна включать как общие мероприятия, направленные на охрану природной среды в целом (осуществление технических и технологических мер по уменьшению отходов и созданию безотходных производств, многократное использование вод, предотвращение утечек сточных вод, контролируемое и ограниченное использование ядохимикатов и удобрений), так и специальные мероприятия. К последним относятся организация зон санитарной охраны водозаборов, выявление существующих и прогнозирование потенциальных источников загрязнения, проведение защитных мероприятий по ликвидации и локализации имеющихся очагов загрязнения и предотвращению их формирования в будущем, выбор мест размещения новых промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов, детальное гидрогеологическое обоснование возможности подземного захоронения промышленных стоков и др.

В условиях тесной взаимосвязи отдельных компонентов окружающей среды, включая подземные воды, особо важное значение имеет создание комплексного мониторинга, охватывающего атмосферные осадки, поверхностные воды, зону аэрации, подземные воды. Составной частью такого мониторинга должны быть природоохранные мероприятия в промышленности и сельском хозяйстве, включая стационарные наблюдения на возможных очагах загрязнения водных объектов.

5.2. Качество и загрязнение подземных вод питьевого водоснабжения

Как уже отмечалось выше, серьезную опасность, как в высокоразвитых, так и в развивающихся странах представляет загрязнение воды. К сожалению, можно привести бесчисленное количество примеров, когда загрязнение водных объектов (рек, озер, водохранилищ, подземных водоносных горизонтов) не позволяет их использовать (прежде всего, для питьевых целей), приводит к различным негативным последствиям в окружающей среде, вызывает опасные инфекционные заболевания людей.

Интенсивное развитие хозяйственной деятельности на водосборах многих рек Европейской территории России привело к увеличению безвозвратных потерь и изменению режима речного стока. В последние 10–15 лет наблюдается усиленное загрязнение малых рек и водоемов. В течение трех лет загрязнение водных объектов, обусловленное отсутствием зон санитарной охраны и недостатками в их очистке увеличилось почти в 1,5 раза. В качестве примера приведем данные по водным ресурсам России за 1995 г. В 1995 г. в целом по РФ до нормы было очищено лишь около 9% от необходимого количества, так как большая часть очистных сооружений не способна обеспечить нормативную очистку сточных вод в связи с их физическим и моральным износом, нерациональным размещением, несоответствием технологий очистки составу сточных вод, превышением концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, перегрузкой по объему поступающих вод и др.

Основными загрязнителями водных объектов России являются жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, химическая и нефтехимическая промышленности, энергетика, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленности, предприятия которых сбрасывают около 80% загрязненных сточных вод (рис. 5.2.1).

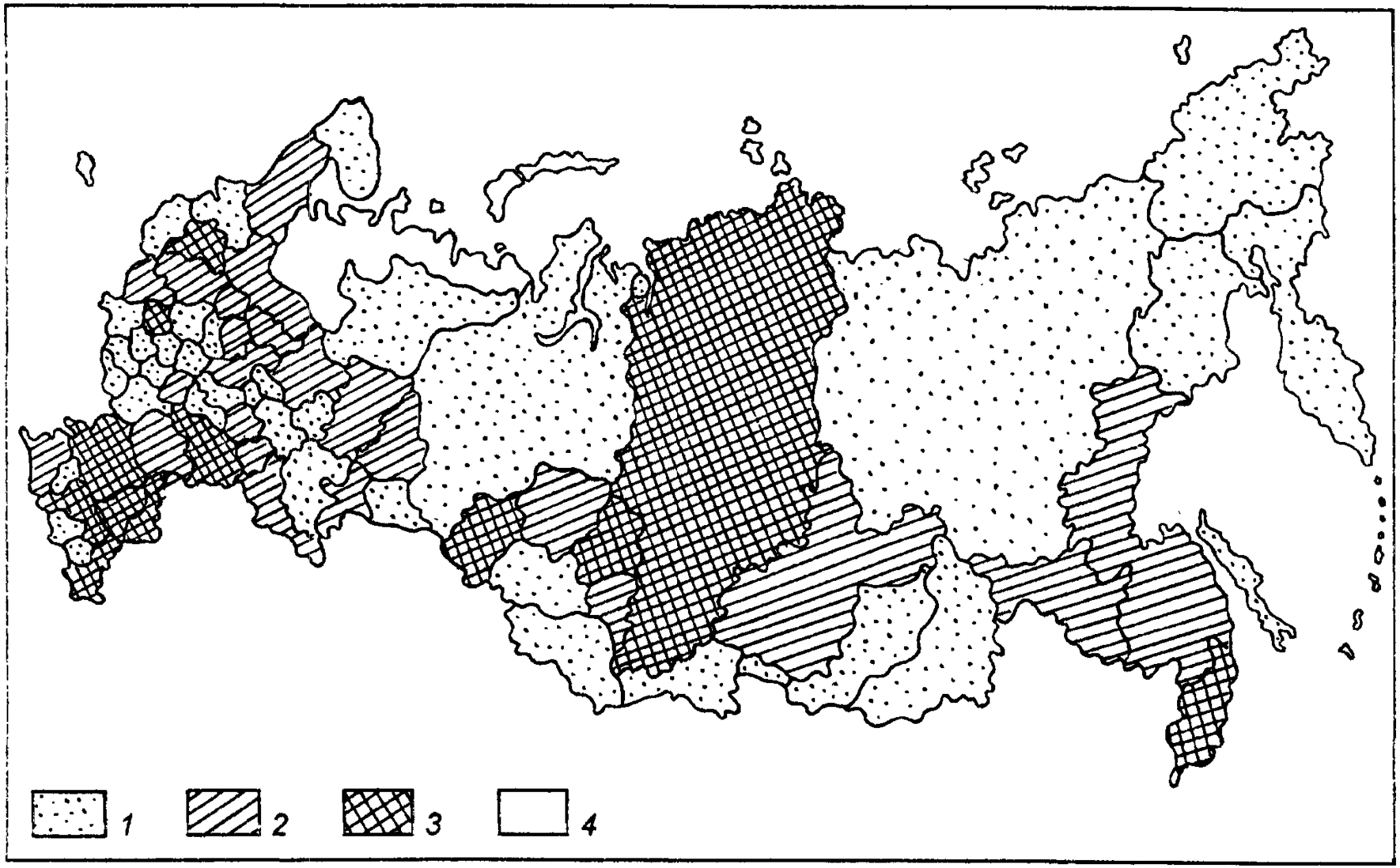


Рис. 5.2.1. Какую воду пьют в России? (по данным Государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора) (по С.И. Шапореико)

Тест на микробиологические показатели (% неблагоприятности): *1* – 1–10, *2* – 11–20, *3* – 21–51, *4* – нет данных

Ниже приводится краткая общая характеристика качества подземных вод и основных тенденций его изменений как под влиянием естественных, так и, главным образом, антропогенных факторов.

В целом качество подземных вод на территории России изменяется в широких пределах, подчиняясь при этом определенным закономерностям. Основные закономерности формирования и распределения подземных вод того или иного химического состава и качества определяются широтной и вертикальной гидрохимической и гидродинамической зональностью. Широтная и вертикальная зональности формирования и распределения подземных вод на Европейской территории России установлены еще несколько десятилетий назад и широко известны. Эти зональности описаны не только в специальной литературе, но и в многочисленных учебниках по гидрогеологии.

Широтная зональность характерна в основном для верхних водоносных горизонтов, прежде всего для грунтовых вод. Для равнинных территорий она выражается в увеличении общей минерализации и изменении химического состава подземных вод в направлении с севера на юг. В северных районах страны до глубин порядка 300 м распространены пресные, преимущественно гидрокарбонатные воды, а на юге они сменяются на значительных площадях солоноватыми и солеными водами хлоридного состава, среди которых пресные воды имеют подчиненное, часто локальное распространение.

Вертикальная зональность подземных вод наблюдается в артезианских бассейнах, где с уменьшением интенсивности водообмена меняется общая минерализация подземных вод и их химический состав. В наиболее общем случае в вертикальном разрезе артезианского бассейна сверху вниз выделяются 3 гидрогеохимические зоны: зона пресных (до 1 г/л) преимущественно гидрокарбонатных вод, зона солоноватых и соленых (1–35 г/л) сульфатных и хлоридных вод и зона хлоридных рассолов

(более 35 г/л). Эта общая схема в различных бассейнах может существенно меняться: в ряде случаев в разрезе развиты только две из названных зон, а иногда – одна зона пресных вод. В некоторых бассейнах засушливой зоны часто наблюдается обратная гидрогеохимическая зональность, когда горизонты пресных вод развиты ниже горизонтов солоноватых или соленых подземных вод или же чередуются с ними. Известно, что приведенная общая картина гидрогеохимических закономерностей нарушается действием различных местных факторов: литологических (например, распространение в верхней зоне соленосных или гипсоносных пород), тектонических (обусловливающих приток по разломам в зону пресных вод высокоминерализованных вод снизу или, наоборот, опреснение нижних горизонтов в зонах тектонических нарушений), гидродинамических (вызывающих перетекание и тесную гидравлическую связь водоносных горизонтов), а также антропогенных факторов.

Роль антропогенных факторов в формировании состава и качества подземных, и прежде всего пресных вод, используемых для водоснабжения, в последние десятилетия чрезвычайно возросла. В настоящее время представление о подземных водах, как экологически чистых, требует в ряде районов существенной корректировки, учитывая прогрессирующее загрязнение окружающей среды и, как следствие, подземных вод. Именно поэтому в России большое внимание уделяется не только наблюдениям за дебитом водозаборов, уровнем воды в эксплуатируемом и смежном горизонте, т.е. предотвращению истощения подземных вод, но и наблюдениям за качеством подземных вод в эксплуатируемых горизонтах.

Загрязнение подземных вод, проявляющееся в последнее время во многих регионах, представляет серьезную опасность и ограничивает возможности и, главное, перспективы практического использования подземных вод для питьевого водоснабжения. Наиболее часто в подземных водах отмечаются повышен-

ные концентрации соединений азота, железа, марганца, стронция, селена, мышьяка, фтора, бериллия, органических веществ, что делает их непригодными для использования в питьевых целях без специальной обработки.

Формирование некондиционных и в ряде случаев экологически опасных подземных вод происходит не только в результате их загрязнения промышленными, сельскохозяйственными, коммунально-бытовыми отходами, но и под влиянием естественных геохимических процессов. Эти процессы ведут к формированию обширных гидрогеохимических провинций, подземные воды которых обогащены одним или несколькими нормируемыми компонентами. На рисунке 5.2.2 приведена схематизация карты гидрогеохимических провинций подземных вод России, опубликованная в работе "Планирование и управление средой оби-

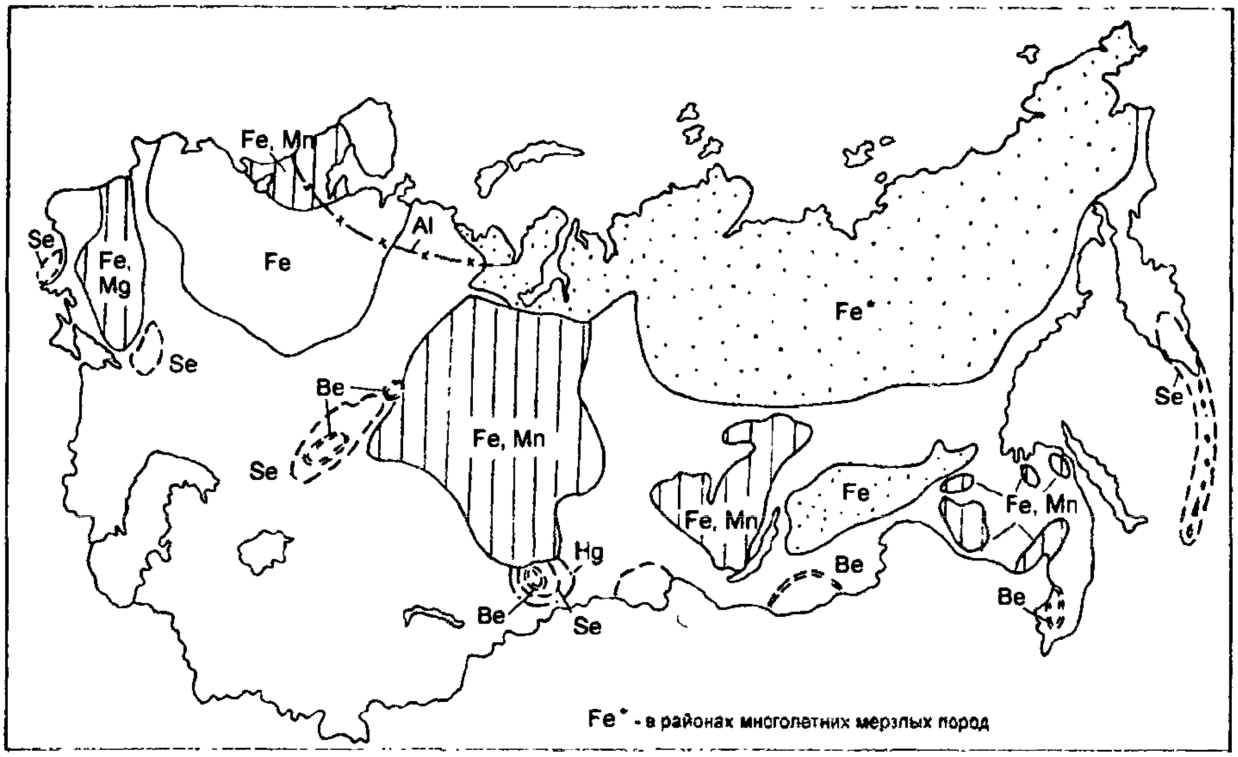


Рис. 5.2.2. Гидрохимические провинции подземных вод с повышенным содержанием Fe, Mn, Se, Al, Ag, Be на территории России и ближнего зарубежья (Вартанян и др.)

тания человека" (1996). На карте показаны регионы России с повышенным содержанием в подземных водах ряда компонентов. В этой же работе справедливо подчеркивается, что наиболее неблагоприятное воздействие на качество подземных вод оказывает нефтяное загрязнение как геологической среды, так и самих подземных вод. Причиной загрязнения подземных вод, представляющего угрозу хозяйственно-питьевому водоснабжению, во многих случаях являются утечки нефтепродуктов из нефтехранилищ, нефтепроводов и бензохранилищ.

На территории России по данным различных геологических организаций Министерства природных ресурсов по состоянию на 01.01.99 г. выявлено свыше 3000 очагов загрязнения подземных вод. При этом около 75% всех очагов загрязнения подземных вод находятся в Европейской части России.

На рисунке 5.2.3 указаны основные источники загрязнения подземных вод. Около 36% от общего числа очагов загрязнения подземных вод обусловлено влиянием накопителей отходов и сточных вод промышленных предприятий, нефтепромыслов, складов горюче-смазочных материалов. Примерно 15% загрязнений подземных вод связано с влиянием загрязняющих веществ,

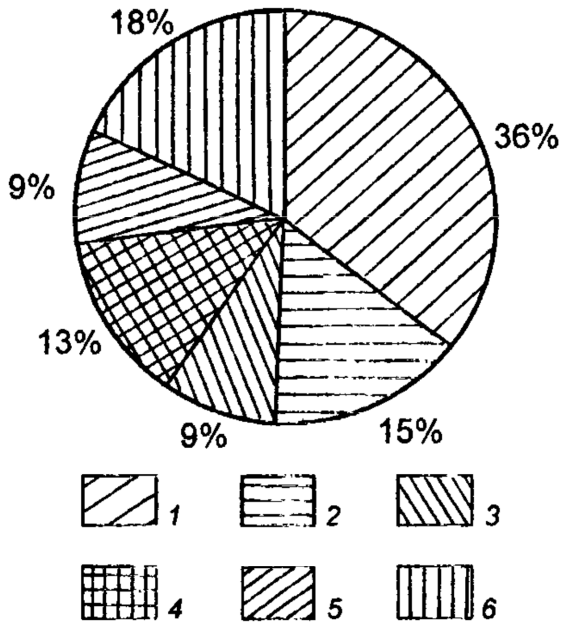


Рис. 5.2.3. Источники загрязнения подземных вод России (по данным Государственного водного кадастра, 2000 г.)

1 – промышленность; *2* – сельское хозяйство; *3* – коммунальное хозяйство; *4* – подтягивание некондиционных вод; *5* – смешанное; *6* – неустановленное

фильтрующихся с полей орошения, из накопителей отходов животноводческих комплексов и птицефабрик. Остальные источники загрязнения связаны с подтягиванием некондиционных поверхностных и подземных вод к водозаборам, с влиянием отходов объектов коммунального хозяйства (прежде всего, различных свалок) и другими причинами.

Наиболее распространенным является загрязнение подземных вод сульфатами, хлоридами, соединениями азота (нитраты аммиак, аммонит), нефтепродуктами, фенолами, соединениями железа, тяжелыми металлами (медь, цинк, свинец, кадмий). Площади загрязненных подземных вод в отдельных случаях достигают десятков и даже сотен квадратных километров. Особо крупные по площади очаги загрязнения выявлены в Московской, Тульской, Волгоградской, Кемеровской, Пермской, Челябинской областях, в Татарстане и Башкортостане (Кочетков, Язвин, 1992). Наиболее опасно загрязнение подземных вод на действующих водозаборах. В настоящее время загрязнение подземных вод отмечено примерно на 140 водозаборах – источниках водоснабжения 87 городов. На рисунках 5.2.4–5.2.8 показаны основные районы загрязнения водозаборов подземных вод на Европейской части России, где отмечено значительное превышение существующих норм содержания в подземных водах отдельных компонентов их состава. Следует отметить, что приведенные на рисунках карты, учитывая внемасштабные знаки принятых условных обозначений, производят на первый взгляд "жуткое" впечатление, что "все ужасно", все везде загрязнено. Это не так. На этих картах-схемах показано не региональное загрязнение, а загрязнение отдельных локальных водозаборов.

Следует особо подчеркнуть, что более 70% всех выявленных случаев загрязнения подземных вод относятся к верхним, первым от поверхности, водоносным горизонтам, которые в большинстве регионов практически не используются для централизованного водоснабжения. При этом нужно отметить, что по

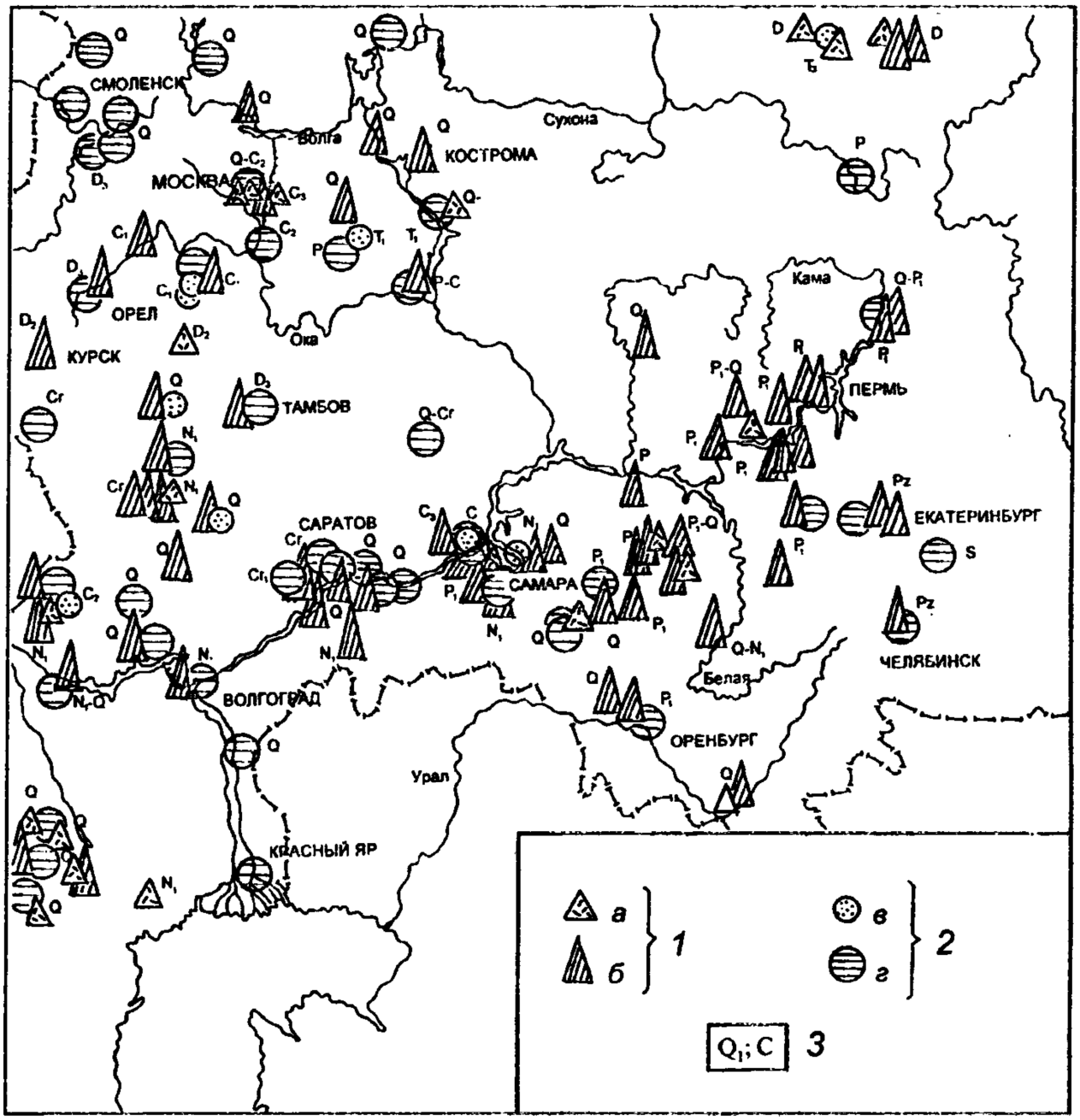


Рис. 5.2.4. Повышенные концентрации

1 – ПДК – 350 мг/л: *а* – хлориды до 500 мг/л, *б* – хлориды более 500 мг/л; *2* – ПДК – 500 мг/л: *в* – сульфаты до 700 мг/л, *г* – сульфаты более 700 мг/л; *3* – индекс соответствует геологическому возрасту водоносного горизонта

данным Государственного водного кадастра за 2000 г., площади загрязнения подземных вод, превышающие 100 км^2, отмечены только на 24 из 2776 учтенных участков загрязнения. В подавля-

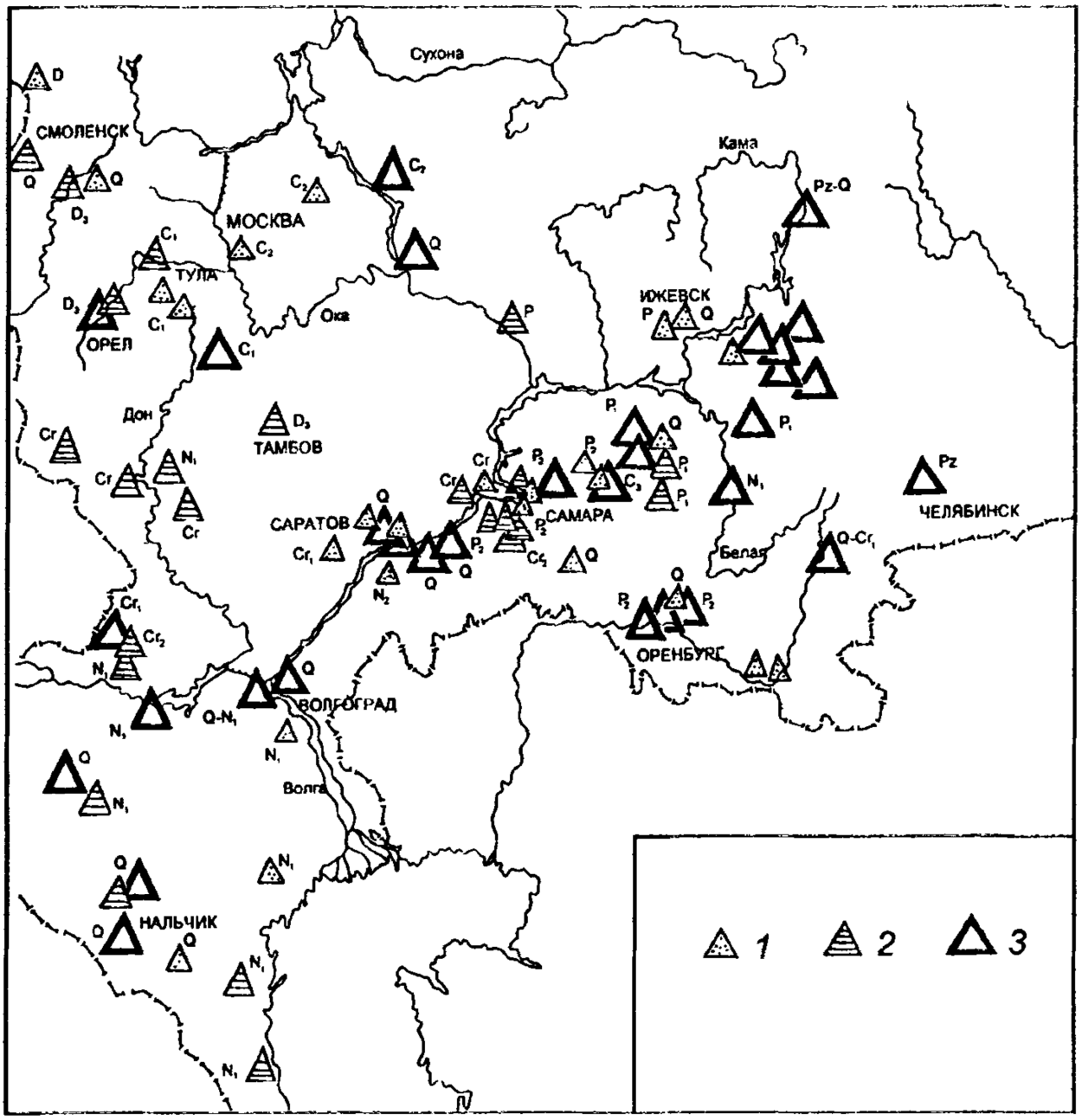


Рис. 5.2.5. Повышенная минерализация
1 – от 1000 до 2000 мг/л; *2* – от 2000 до 5000 мг/л; *3* – более 5000 мг/л

ющем числе случаев, площади загрязнения водоносных горизонтов не превышают нескольких сотен квадратных метров или нескольких квадратных километров. Однако это обстоятельство не может служить показателем благополучного состояния качества подземных вод.

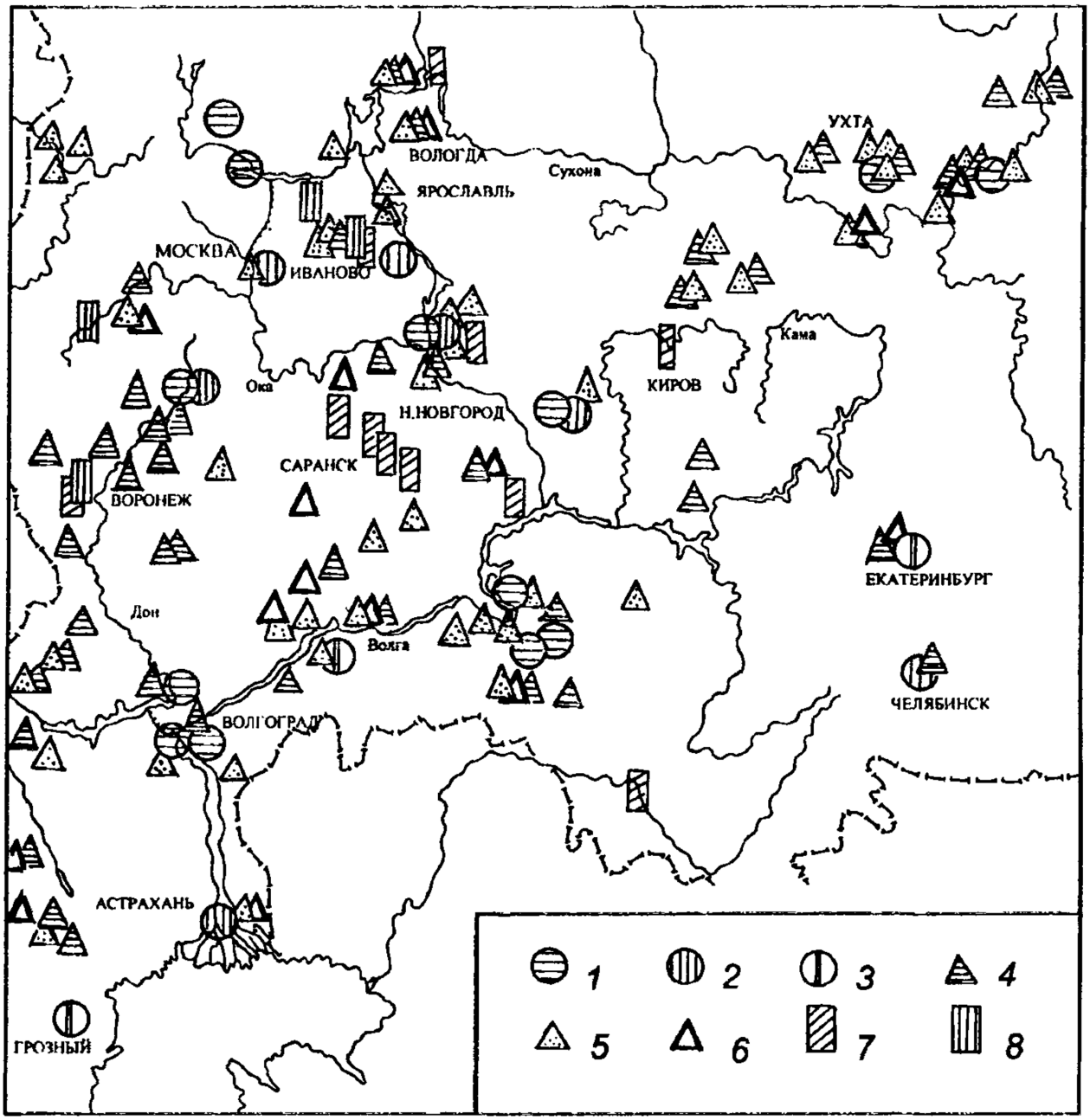


Рис. 5.2.6. Повышенные концентрации

1 – соединения бензола; *2* – спирты и кислоты; *3* – пестициды; *4* – нитраты; *5* – аммиак; *6* – нитриты; *7* – мутность; *8* – цветовой индекс

Ухудшение качества подземной воды отмечается также по многим одиночным скважинам и колодцам, прежде всего в сельских населенных пунктах, где загрязнение подземных вод в основном связано со сбросом хозяйственно-бытовых стоков.

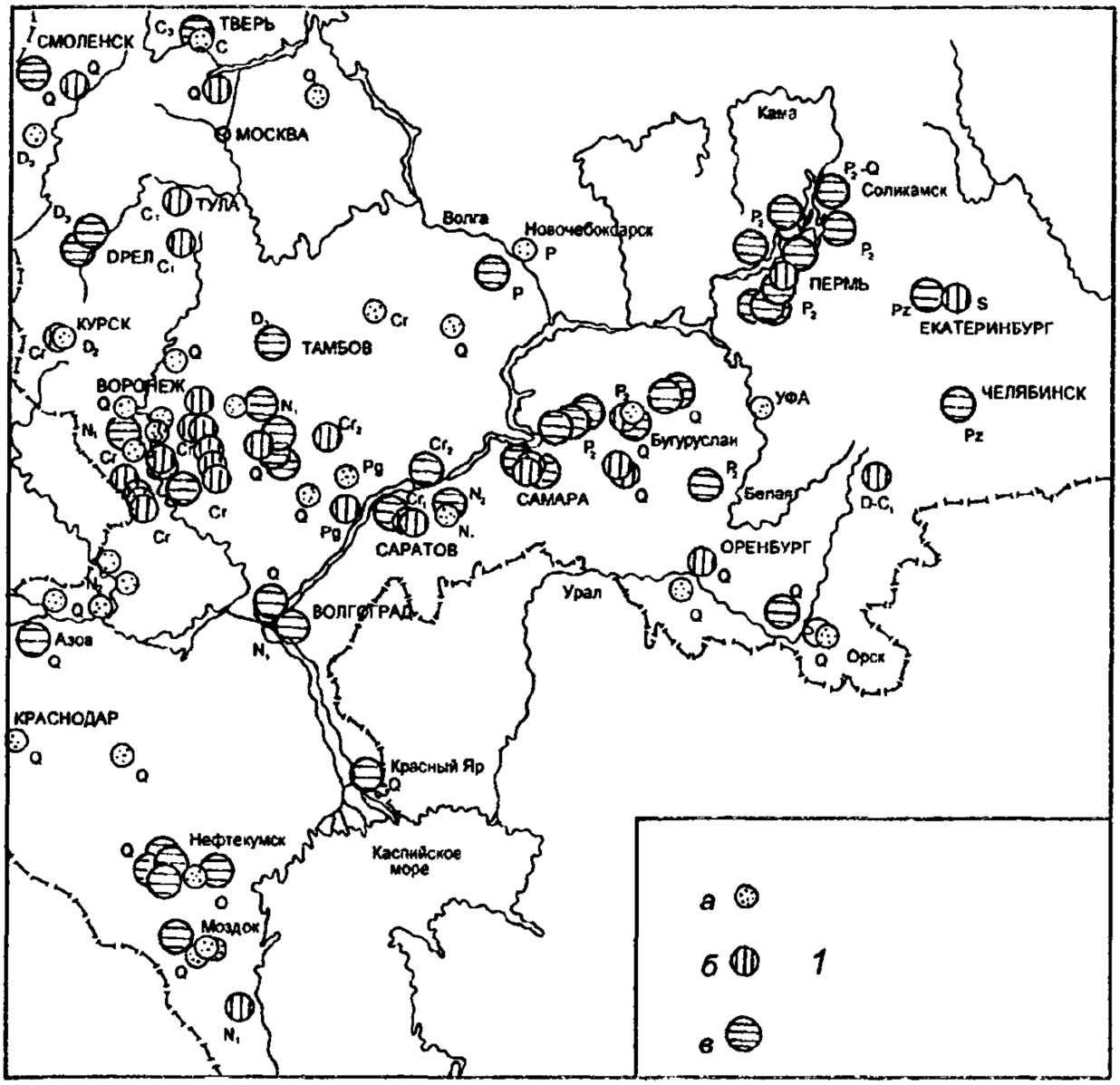


Рис. 5.2.7. Повышение общей жесткости воды

1 – ПДК – 7 мг-экв/л: *а* – до 12 мг-экв/л, *б* – 13–17 мг-экв/л, *в* – более 17 мг-экв/л

В Информационном бюллетене водного кадастра России приводятся данные по 516 наиболее крупным участкам загрязнения подземных вод с указанием площади загрязнения конкретного водоносного горизонта, основного загрязнителя, концентрации загрязняющего вещества в подземных водах и величины превышения предельно-допустимых концентраций по Государствен-

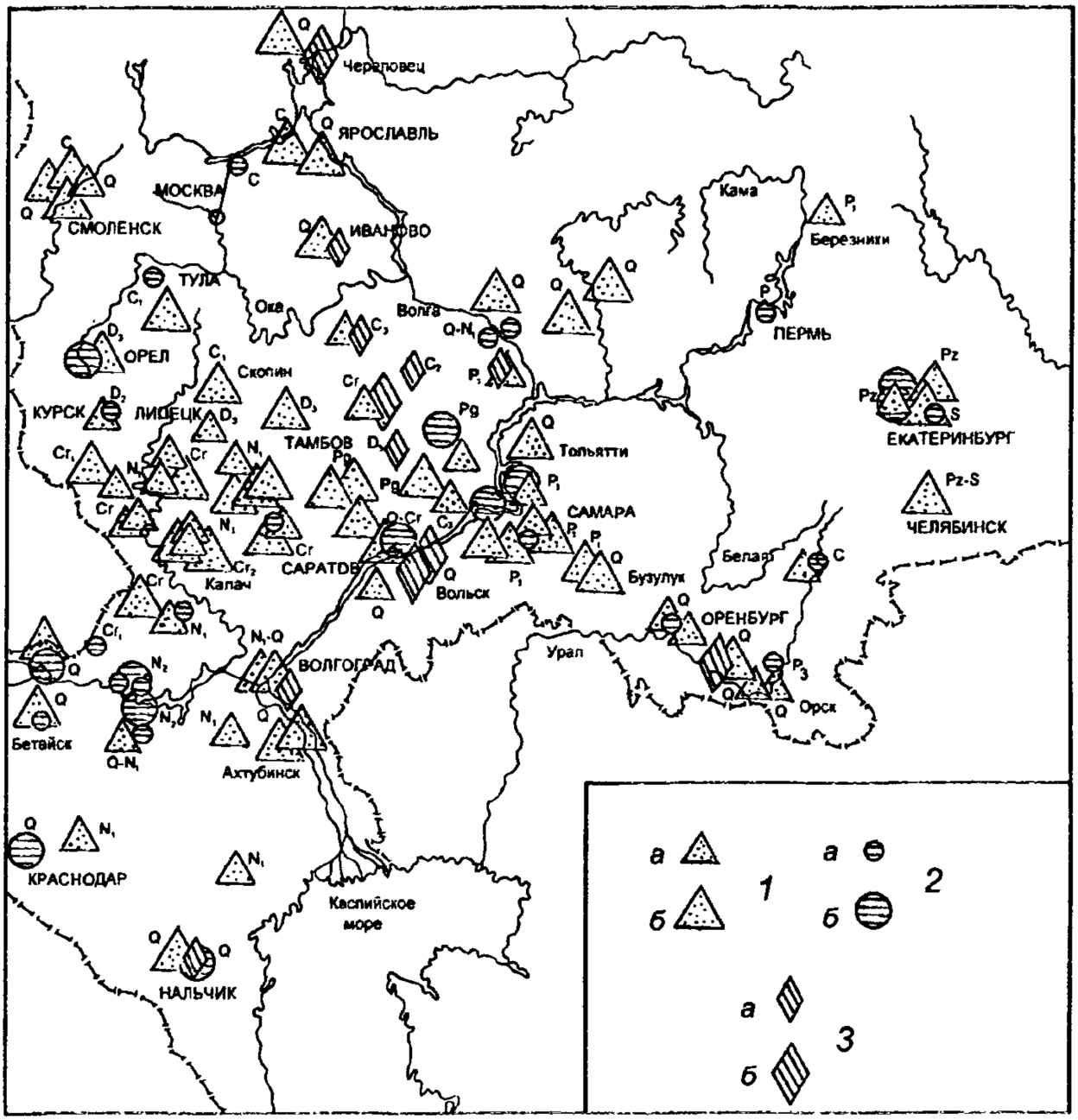


Рис. 5.2.8. Повышенные концентрации

1 – ПДК – 0,3 мг/л, железо: *а* – до 2 мг/л, *б* – более 2 мг/л; *2* – ПДК – 0,1 мг/л, марганец: *а* – до 2 мг/л, *б* – более 2 мг/л; *3* – ПДК – 1,2 мг/л, фтор: *а* – до 3 мг/л, *б* – более 3 мг/л

ному стандарту на питьевую воду (интенсивность загрязнения). Анализ этих данных показывает следующие превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК) в подземных водах:

– по нефтепродуктам от 1 до 100 раз и более на 73 участках (из 516) (Ухта, Брянск, Орел, Саранск, Самара, Пятигорск, Новочеркасск, Екатеринбург), в том числе более чем в 100 раз – на 17 участках;

– по нитратам и др. соединениям азота от 1 до 10 раз и более на 102 участках (Верхне-Днепровский р-н Смоленской области, Нерекский р-н Калужской обл., Кулебакский р-н Нижегородской обл., Новокузнецк, Новосибирск, Южно-Сахалинск и др.), в том числе более чем в 10 раз – на 32 участках загрязнения подземных вод;

– по фенолам от 1 до 100 раз и более на 41 участке (Евма в Коми, Советск Калининградской обл., Череповец Вологодской обл., Редкино Тверской обл., Москва, Люберцы и Старая Купавна Московской обл., Данков Липецкой обл., Волгоград и Волжский Волгоградской обл., Саратов, Тольятти, Грозный, Уфа, Томск, Кемерово, Ангарск и др.), в том числе более чем в 100 раз – на 17 участках;

– по соединениям железа от 1 до 100 раз и более на 65 участках (Ярега в Коми, Плесецкий р-н Архангельской обл., Череповецкий р-н Вологодской обл., Псков, Иваново, Тамбов, Актюбинск, Челябинск, Чита и Корымский р-н Читинской обл., Хабаровск и др.), в том числе более чем в 100 раз – на 12 участках;

– по сульфатам на 13 участках загрязнения подземных вод, в том числе до 5 раз на 10 участках и более чем в 5 раз – на 3 участках (Кинешма Ивановской обл., Дзержинск Нижегородской обл., Волгоград, Балаково Саратовской обл., Красноярск и др.).

Общая минерализация подземных вод на участках, загрязнения превышает ПДК на 25 участках (из 516), в том числе в несколько раз на 17 участках (Воскресенск Московской обл., Орел, Скопин Рязанской обл., Смоленск, Тула, Ухта, Тамбов. Саратов и др.) и в несколько десятков раз на 8 участках (Заволжск Ива-

новской обл., Щебекино Белгородской обл., Березняки Пермской обл., Дзержинск, Нефтекумск Ставропольского края, Нальчик и др.).

На 30 участках загрязнения жесткость подземных вод превышает ПДК в несколько раз (Орел, Смоленск, Тула, Красноярский р-н Астраханской обл., Волжский р-н Волгоградской обл., Самара, Нефтекумск и др.), а в несколько десятков раз на 5 участках (Волгоград, Соликамск и Березняки Пермской обл., Челябинск, Туймазинский р-н в Башкирии).

На 7 участках содержание различных органических соединений в подземных водах превышает ПДК более чем в 100 раз.

Достаточно часто отмечаются случаи бактериального загрязнения подземных вод, особенно в первых от поверхности водоносных горизонтах.

Следует подчеркнуть, что наиболее опасным является загрязнение водоносных горизонтов, широко используемых для водоснабжения городов и крупных населенных пунктов, где подземные воды являются часто основным или даже единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения. В связи с этим был выполнен анализ качества используемых подземных вод 63 городов и населенных пунктов России. Превышение ГОСТа отмечается: по железу – в 47 городах, по сероводороду – в 3, по жесткости – в 18, по фенолам – в 16, по барию – в 4, по хрому – в 4, по свинцу – в 2, по мутности – в 18, по мышьяку – в 3 и т.д.

Использование вод с превышением ПДК по отдельным компонентам состава в питьевых целях может вызвать различные заболевания. Подробнее этот вопрос рассматривается в главе 8.

Глава 6

УЯЗВИМОСТЬ И ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

6.1. Современное состояние региональных исследований

Как известно, подземные воды во многих регионах являются наиболее важным, экологически безопасным, а часто и единственным источником питьевого водоснабжения.

Однако, значительное антропогенное воздействие на окружающую среду, включая подземные воды как ее компонент, послужило причиной того, что подземные воды в ряде регионов нельзя использовать для водоснабжения. Это особенно относится к неглубоким подземным водам верхней гидродинамической зоны.

Изменение качества подземных вод под влиянием человека часто выражается в увеличении содержания растворенных твердых веществ, а также некоторых химических элементов и соединений (хлора, сульфатов, кальция, магния, железа, фтора и некоторых других), в появлении в подземных водах токсичных субстанций искусственного происхождения (например, пестицидов, нефтепродуктов и радионуклидов), в изменении температуры и pH, в появлении запаха и цвета и т.д. Во многих районах воздействие человека на подземные воды приобрело регио-

нальный характер вследствие общего загрязнения окружающей среды, особенно загрязнения атмосферы, почвы и поверхностного стока. Ухудшение качества подземных вод особенно заметно в промышленных регионах и в районах интенсивного применения химических удобрений. Ухудшение качества подземных вод в результате загрязнения представляется даже большей опасностью, чем нехватка воды. В этих условиях охрана подземных вод от загрязнения становится одной из актуальных задач.

Концепция уязвимости подземных вод основана на предположении, что геологическая среда может обеспечить некоторую степень защиты подземных вод от природного и антропогенного воздействий. Термин "уязвимость подземных вод по отношению к загрязнению" был введен французским гидрогеологом Ж. Марга (1968) в конце 60-х годов. Первая синоптическая карта уязвимости водоносного горизонта по отношению к загрязнению в масштабе 1:1 000000 была опубликована во Франции (Albinet, 1970).

Хотя, концепция уязвимости подземных вод существует уже три десятилетия, все еще не выработано четкого определения этого понятия. Однако широко используется следующее определение: "Под уязвимостью подземных вод подразумеваются природные свойства системы подземных вод, которые зависят от способности или чувствительности этой системы справляться с природными и антропогенными воздействиями" (Vrba, Zaporozec, 1994).

Комитет по Технологии для оценки уязвимости подземных вод при Национальном Исследовательском Комитете США определил уязвимость подземных вод как тенденцию или вероятность достижения загрязнителями определенной концентрации в подземных водах после попадания в зону над верхним водоносным горизонтом. Однако, позже, этот Комитет выделил два основных типа уязвимости: специфическая уязвимость (имеется в виду какой-либо конкретный загрязнитель или несколько

загрязнителей) и присущая уязвимость, которая не зависит от свойств и поведения специфических загрязнителей.

Основой концепции уязвимости подземных вод является понимание того, что в некоторых областях, благодаря особенностям природных условий (прежде всего, геолого-гидрогеологических) подземные воды легко подвержены воздействию загрязнения и поэтому являются наиболее уязвимыми, а в других – нет. Поэтому главным при оценке естественной защищенности и уязвимости подземных вод является анализ конкретных природных особенностей изучаемого региона. Исходя из этого, можно сформулировать следующие определения.

Защищенность подземных вод – это свойство природной системы, позволяющее сохранить на прогнозируемый период состав и качество подземных вод соответствующими требованиям их практического использования.

Противоположный термин – уязвимость подземных вод. Чем больше защищенность подземных вод, тем меньше их уязвимость к загрязнению.

Оценка уязвимости подземных вод к загрязнению является по существу гидрогеологическим обоснованием мер по их защите в различных природных и антропогенных условиях. По опыту ряда стран (Россия, США, Германия, Италия и др.) можно осуществить региональную оценку и картирование природной уязвимости водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения и ирригации. Эта оценка обычно основана на анализе и обработке всех имеющихся гидрогеологических данных и прежде всего данных, характеризующих защитные свойства зоны аэрации.

Оценка уязвимости подземных вод к загрязнению осуществляется в двух направлениях:

– качественная оценка территории, заключающаяся в определении степени влияния различных природных и антропогенных факторов на уязвимость водоносных горизонтов, что по-

зволяет сравнивать различные части территории с точки зрения защищенности подземных вод от загрязнения.

– количественная оценка, заключающаяся в расчете времени (скорости) проникновения конкретного загрязнителя в водоносный горизонт с учетом природных свойств водовмещающих и перекрывающих пород и миграционных свойств загрязнителя.

Иными словами, следует различать два различных подхода: первый – оценка и картирование защитных свойств или уязвимости подземных вод какой-либо территории без учета характеристик и свойств конкретных загрязнителей и второй – оценка и картирование защитных свойств природной системы применительно к конкретному виду загрязнения.

Рассмотрим кратко современные методические подходы к оценке и картированию естественной защищенности подземных вод. Как уже отмечалось, исследования в этом направлении в последние годы значительно активизировались.

Первые попытки в разработке методов оценки уязвимости подземных вод были предприняты в конце 60-х годов. В настоящее время существует большое разнообразие различных способов оценки и картирования уязвимости подземных вод (табл. 6.1.1, составлена по данным О.И. Гроздовой (1987)).

Большинство методологий основываются либо на качественном, либо на количественном анализе влияния различных факторов на уязвимость подземных вод. Обычно оценивается степень защиты безнапорных подземных вод или вод верхнего напорного водоносного горизонта.

При оценке степени защиты безнапорных грунтовых вод рассматривается прежде всего влияние мощности и литологического состава пород зоны аэрации, а в ряде методик учитываются также влияние на уязвимость фильтрационных свойств водоносного горизонта и его питания и данные о литологическом характере водоносных пород.

Таблица 6.1.1

Список некоторых опубликованных карт уязвимости подземных вод

Год	Страна	Авторы	Название	Масштаб
1967	Чехословакия	М. Олмер	Карта уязвимости подземных вод по отношению к углеводородному загрязнению	1:200000
1967	Польша	нет сведений	Гидрогеологическая карта провинции Ольштейн с особенностями оценки уязвимости подземных вод по отношению к загрязнению	1:100000
1967	Польша	нет сведений	Гидрогеологическая карта с элементами оценки опасности поверхностного загрязнения подземных вод	1:200000
1968	США	У.Х. Уолкер	Карта загрязнения водоносного горизонта штата Иллинойс	нет данных
1968	Чехославакия	М. Врана	Карта уязвимости подземных вод Богемии и Моравии	1:500000
1970	Чехославакия	М. Бански	Уязвимость подземных вод Словакии	1:500000
1970	Франция	М.А. Альбине	Карта степени загрязнения водоиосного горизонта	1:1000000
1970	ФРГ	нет сведений	Карта провинции северная Рейи-Вестфалия с указанием пяти областей инфильтрационной очистки воды	нет данных
1971	Польша	нет сведений	Карта опасности загрязнения подземных вод	нет данных
1971	Испания	нет сведений	Карта регионального деления Испании с указанием шести осиовных категорий опасности загрязнения подземиых вод	1:200000
1973	Польша	А.С. Клежковский, З. Мисзка, З. Пирит	Карта опасности загрязнения и степени защиты подземных вод Польши	1:1000000
1973	Франция	Б. Лемье, П. Марти	Карта уязвимости подземных вод Монреаля по отношению к загрязнению с указанием источников загрязнения и степени загрязнения поверхностных вод, 2 листа	1:100 000
1974	Франция	Дж. Лави, Дж. Поутал	То же, 5 листов	1:50000
1975	Франция	Р. Тосси, Дж. Лиенар, Дж. Колли	То же, район Лиона	1:20000
1975	Чехословакия	М. Олмер, Б. Резак	Карта уязвимости подземных вод Чехии, 18 листов	1:200000
1976	Чехословакия	М. Врана	Легенда для крупномасштабных карт уязвимости подземных вод	1:20000 1:50000
1976	СССР	Н.В. Роговская	Модель карты уязвимости подземных вод для одного из регионов СССР	1:200000

таблица 6.1.1 (окончание)

1978	Болгария	К. Антонов, М. Райкова	Карта степени природной защиты подземных вод	1:100000
1979	Польша	А. Макежик, З. Плочневски	Карта уязвимости подземных вод	нет данных
нет данных	ГДР	нет сведений	Карта уязвимости подземных вод с указанием 5-ти типов регионов с самоочисткой и миграцией загрязненной инфильтрующейся воды	нет данных
1980	СССР	В.М. Гольдберг и др.	Карта защищенности подземных вод для: 1) СССР 2) Европейская часть СССР 3) Центральные районы России 4) Московский регион	 1:2500000 1:150000 1:500 000 1:50000
1982	Дания	А. Виллюмсен, О.С. Якобсен, К. Сондерсков	Карта уязвимостн подземных вод одного из регионов Ютландии (методика включает геологические, гидрогеологическне н гидрохимические данные	нет данных
1983	ФРГ	нет сведений	Карта природной защищенности окружающей среды Нижней Саксонии и Бремена	1:200000
1988	Польша	Я. Горски и др.	1) Карта уязвимости подземных вод Польши 2) Карта уязвимости подземных вод для каждой провинции	1:500000 1:100000
1988	СССР	В.М. Матусевич и др.	Схематическая карта уязвимости подземных вод гидросферы для районов распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири	нет данных
1989	Италия	А. Аурели и др.	Карта уязвимости подземных вод юго-восточной Сицилии	1:50000
1989	Швеция	Поусетт и др.	Карта уязвимости подземных вод кристаллического фундамента по отиошению к фильтрующейся загрязненной воде (дополнение к гидрогеологической карте района Йонкопинг)	нет данных
нет данных	СССР	В.М. Матусевич и др.	Обобщенная карта риска загрязнения Украинской ССР	нет данных
1990	Бельгия	нет сведений.	Карта уязвимости подземных вод Фландрии	1:100000
1990	ФРГ	нет сведений.	Карта уязвимости подземных вод района Крейзнач Спа	нет данных
1991	Гватемала	нет сведений.	Карта уязвнмости водоносных горизонтов Гватемалы	нет данных
1991	США	И.С. Зекцер, Л.Дж. Эверетт, С. Каллен	Карта уязвимости подземных вод Калифорнии	1:2000000

Авторы ряда методик учитывают сорбционные свойства как пород зоны аэрации, так и водоносных пород оцениваемого водоносного горизонта. Например, К. Питьева (1984) определяет категории защищенности подземных вод, используя специальную схему, в которой учтена способность пород удалять физико-химические загрязнители из подземных вод в результате адсорбции, ионного обмена, осаждения и разложения органического вещества кислородом и микроорганизмами. Автором выделены восемь категорий защищенности, включающие характеристики состава, водопроницаемости и мощности пород зоны аэрации.

Карта уязвимости подземных вод Фландрии (Западная Бельгия), составленная Джоутом и Госсеном (1990), основана на анализе данных о мощности и литологии пород зоны аэрации состава водоносных пород. На карте показаны 16 участков, характеризующихся комбинацией трех указанных факторов. Например, участки водоносного горизонта, сложенные высоко проницаемыми сильно трещиноватыми породами, перекрывающимися сверху маломощным (до 5 м) слоем хорошо фильтрующих пород, считаются наиболее уязвимыми. Участки, где водоносный горизонт сложен с глинистыми песками и сверху перекрывается глинами, рассматриваются как наименее уязвимые.

Примером качественной оценки защищенности верхнего напорного водоносного горизонта является метод, предложенный Гольдбергом и Газдой (1984), включающий анализ двух показателей – мощности верхнего водоупорного слоя и соотношения уровней изучаемого напорного водоносного горизонта и залегающего выше безнапорного водоносного горизонта. В зависимости от сочетания этих двух факторов, выделяются три класса напорных подземных вод: защищенные, условно защищенные и незащищенные.

В. Гольдберг (1993) является одним из основных авторов отечественной методологии оценки защищенности подземных

вод, основанной на балльной оценке влияния различных природных факторов на уязвимость подземных вод. При этом каждому из анализируемых факторов присваивается определенный балл в зависимости от степени его воздействия в конкретных природных условиях. Сумма баллов характеризует определенную категорию защищенности подземных вод. Чем больше эта сумма, тем лучше защищены подземные воды от загрязнения.

Остановимся более подробно на работе американских ученых Л. Аллена, Т. Беннетта, Дж. Лена и К. Нейкетта, которые в 1987 г. разработали стандартизированную систему региональной оценки уязвимости подземных вод к загрязнению, получившую название Drastic. Авторы рассматривают влияние на уязвимость подземных вод следующих природных факторов: глубина до уровня грунтовых вод (УГВ), питание подземных вод, состав и строение почвы и водоносного горизонта. Каждый фактор характеризуется постоянным заранее определенным весовым вкладом, например, глубина до уровня подземных вод характеризуется весом 5, а строение почвы весом 2 и т.д. Далее применительно к конкретным геолого-гидрогеологическим условиям устанавливается рейтинг (вклад) каждого фактора. Так, например, различные интервалы глубины до уровня подземных вод (вес фактора 5) характеризуются разными значениями рейтинга (глубина до 5 м – один рейтинг, 5–10 м – другой рейтинг и т.д.). Умножая "вес" на "рейтинг" авторы получают "показатель" (Number), который количественно характеризует влияние на уязвимость подземных вод оцениваемого фактора. Сумма "показателей", называемая "Драстик-индекс", отражает совокупное влияние всех указанных факторов и отображается на карте. Конкретный пример, заимствованный из работы указанных авторов, приведен в таблице 6.1.2.

Используя изложенный выше подход, авторы выполнили количественную оценку уязвимости подземных вод к загрязнению для большинства регионов территории США и составили

Таблица 6.1.2

Пример использования системы Drastic для оценки уязвимости водоносного горизонта

Вмещающие породы: песчаники, известняки, слацеватые и тонкозернистые почвы			Обобщенные характеристики	
Параметр	Диапазон изменения, состав пород	Весовой коэффициент	Рейтинг	Показатель
глубина до УГВ, м	4,5–9	5	7	35
питание, мм	101,6–177,8	4	6	24
состав водоносного горизонта	тонкие песчанистые породы	3	6	18
состав почв	суглинок	2	5	10
топография, %	2–6	1	9	9
влияние вадозной зоны (зоны аэрации)	песчано-глинистые	5	6	30
коэффициент фильтрации, $м^2$/сут	0,15–15	3	3	9
		ДРАСТИК-ИНДЕКС		129

карты, отражающие "Драстик-индекс". Авторы проделали колоссальную работу по сбору, анализу и обобщению имеющихся фактических данных, отражающих влияние конкретных факторов на уязвимость и защищенность подземных вод. Однако методика оценки и картирования уязвимости подземных вод к загрязнению ("Drastic"), не получила широкого использования. Вероятно, это связано с ее некоторыми ограничениями, среди которых следует отметить следующие:

– "Drastic" использует постоянное значение весовой роли фактора, (заранее заданный, назначенный вес), в то время как вклад каждого фактора в конкретных природных условиях является различным. Например, одна и та же глубина до уровня грунтовых вод по разному влияет на их уязвимость в аридных и гумидных условиях. Это обстоятельство придает результатам оценки защищенности по "Drastic" условный характер;

– "Drastic" не разделяет факторы, влияющие на уязвимость подземных вод к загрязнению для безнапорных и напорных водоносных горизонтов, которые, как будет показано ниже, являются разными;

– не очень понятно, почему влияние почвы рассматривается практически дважды, как фактора "строение почвы" и как одного из компонентов фактора "влияние зоны аэрации".

Несмотря на указанные ограничения "Drastic" следует рассматривать как первую крупную работу, направленную на количественную региональную оценку природной защищенности подземных вод от загрязнения.

6.2. Принципы оценки и картирования уязвимости подземных вод

Защищенность подземных вод (или, наоборот, их уязвимость к загрязнению) зависит от многих факторов, которые можно подразделить на три группы: природные, антропогенные и физико-химические. Природные факторы включают: глубину подземных вод, наличие полупроницаемых слоев, мощность и водопроницаемость пород, перекрывающих подземные воды, сорбционные свойства пород, гидродинамические условия, определяющие направление и скорость фильтрации, темпы водообмена подземных вод различных горизонтов. Антропогенные факторы включают: наличие и условия хранения загрязняющих веществ на поверхности земли, распределение по площади сточных вод, в том числе с полей орошения, различного рода нарушения поверхности земли (строительные котлованы, колодцы, карьеры и т.п.), определяющие возможность проникновения загрязняющих веществ в водоносные горизонты. Физико-химические факторы характеризуют: сорбционные и миграционные свойства загрязняющих веществ и характер взаимодействия между загрязняющими веществами, породами и подземными водами. Все эти факторы следует рассматривать при оценке уязвимости подземных вод к загрязнению. Однако, выбор основных факторов для рассмотрения зависит от конкретных гидро-

геологических и антропогенных условий рассматриваемой территории, цели исследования и масштаба оценочных карт.

Следует отметить, что природные факторы, определяющие уязвимость подземных вод к загрязнению, являются различными для безнапорных и напорных вод. Для безнапорных вод такими факторами, в первую очередь, являются: мощность зоны аэрации (или глубина до уровня безнапорных вод), литологический состав этой зоны, питание подземных вод (обычно используется среднегодовая величина питания за многолетний период), время водообмена подземных вод, водопроводимость безнапорных водоносных горизонтов. При этом степень влияния указанных факторов на защищенность подземных вод является различной и зависит от конкретных геолого-гидрогеологических условий исследуемых территорий.

Характеристики структуры и проницаемости строения и фильтрационных свойств зоны аэрации являются наиболее важными для оценки уязвимости безнапорных водоносных горизонтов. Однако данные по проницаемости пород зоны аэрации часто весьма ограничены. В этих случаях для региональных оценок анализируется литологический состав пород зоны аэрации, на основании которого условно выделяются различные категории пород, например, хорошо проницаемые, проницаемые, полупроницаемые, практически непроницаемые. Важным фактором, определяющим природную уязвимость подземных вод к загрязнению, является величина их инфильтрационного питания. Для количественной характеристики величины питания могут быть использованы результаты региональной оценки и картирования подземного стока в л/с·км^2 или в мм в год.

Анализируя влияние природных факторов на защищенность подземных вод, И. Зекцер, Л. Эверетт и С. Кален в 1991 г. выполнили ориентировочную количественную оценку защитных свойств безнапорных и слабонапорных водоносных горизонтов территории штата Калифорния и составили карту уязвимости

подземных вод в масштабе 1:2000000. При этом влияние каждого фактора в зависимости от конкретных природных условий обозначалось различными "показателями" (Numbers), которые определялись экспертным путем. Например, мощность вадозной зоны до 30 м – Number 3, от 30 до 60 м – Number 6; величина инфильтрационного питания менее 15 мм в год – Number 10, от 15 до 30 мм в год – Number 8, от 30 до 60 мм в год – Number 6 и т.д. Такой подход придает некоторую условность полученным выводам. Естественная защищенность подземных вод характеризуется суммой показателей (Numbers) и отображена на карте фиксированными градациями (рис. 6.2.1, вклейка). Кроме того, на карте специальными символами показано влияние конкретных факторов на защищенность подземных вод. Эту карту следует рассматривать как первую весьма приближенную оценку степени защищенности подземных вод штата Калифорния от загрязнения.

В целом, анализ влияния различных природных факторов на защитные свойства безнапорных и слабонапорных водоносных горизонтов позволяет сделать вывод, что чем больше мощность вадозной зоны, чем более плотными (менее проницаемыми) породами она сложена, чем меньше величина инфильтрационного питания и величина водопроводимости водоносного горизонта, чем больше время водообмена, тем лучше природная защищенность подземных вод и, следовательно, меньше их уязвимость к загрязнению.

Для напорных подземных вод основными природными факторами, определяющими их защищенность от загрязнения, являются: соотношение уровней (напоров) оцениваемого водоносного горизонта и вышележащего безнапорного водоносного горизонта, определяющее возможность поступления сверху загрязненных вод; мощность и проницаемость (литологический состав) верхнего водоупорного слоя, определяющие возможную величину перетекания сверху загрязненных вод; водопроводи-

мость, величина инфильтрационного питания и время водообмена оцениваемого водоносного горизонта.

Достаточно очевидно, что первые два из названных факторов являются определяющими, поскольку они в совокупности характеризуют потенциальную опасность проникновения сверху загрязненной воды в напорный водоносный горизонт. Весьма важно при оценке уязвимости напорного горизонта использовать сведения о коэффициенте перетекания. Как известно, коэффициент перетекания А представляет собой отношение коэффициента фильтрации $К_ф$ к мощности $М_о$ верхнего водоупорного слоя. Чем больше мощность этого слоя и чем меньше его коэффициент фильтрации, тем выше природная защищенность напорного водоносного горизонта. Однако, часто данные о коэффициенте перетекания отсутствуют. В этих случаях анализируется литологический состав этого водоупорного слоя, который определяет его фильтрационные свойства.

Важным природным фактором, определяющим защитные свойства как безнапорных, так и напорных подземных вод, является сорбционная способность как водовмещающих, так и, особенно, вышележащих пород.

В заключение этой главы, посвященной одной из важнейших проблем – охране подземных вод от загрязнения, автор считает нужным высказать несколько соображений принципиального характера.

1. Существенным недостатком рассмотренной выше методологии оценки природной защищенности подземных вод является трудность и неопределенность в оценке действительного вклада каждого из рассматриваемых факторов (иными словами их весовой роли) в формирование защитных свойств подземных вод. При этом используется экспертный подход, когда на основании имеющегося опыта без конкретных количественных оценок одним факторам придается большая роль (и соответственно, большая сумма баллов), а другим – меньшая. Такой

подход, присущий большинству методик, использующих оценку по баллам, является качественным и придает результатам оценки и картам защищенности весьма условный характер. Это замечание относится ко многим ныне весьма популярным методикам, включая Drastic, методику В. Гольдберга и др. Поэтому составление такого рода карт защищенности следует рассматривать только как первый, весьма важный и необходимый этап количественной оценки уязвимости подземных вод к загрязнению, который позволяет получить общие региональные представления о степени природной защищенности подземных вод в том или ином районе.

2. Второй этап, часто более важный в практическом отношении, заключается в оценке времени, в течение которого загрязнитель (или загрязненный инфильтрующийся с поверхности земли поток) достигает уровня подземных вод. Это время, а также скорость миграции загрязнителя в водоносный горизонт, могут быть оценены только при более детальных исследованиях, если имеются данные о сорбционных свойствах вадозной зоны и водоносного горизонта и о миграционных параметрах. В этих случаях для расчета времени, в течение которого загрязнитель достигает водоносного горизонта, могут быть использованы существующие математические модели и известные компьютерные программы, например, такие как последние модификации Modflow, CHEM, PATH, HydrogeoCHEM и другие.

В качестве примера использования такого подхода для оценки защищенности подземных вод можно привести работу А. Белоусовой и О. Галактионовой (1994), в которой выполнена региональная оценка и картирование защищенности от радиоактивного загрязнения для некоторых районов Европейской части России. Исследования выполнялись для цезия-137 и стронция-90; рассчитывалось время, в течение которого эти радионуклиды с поверхности земли "дойдут" до зеркала грунтовых вод. Затем это время сравнивалось с периодом полураспада этих радионук-

лидов и выделялись территории, где рассчитанное время меньше периода полураспада (т.е. территории, где подземные воды не защищены от радиоактивного заражения), где это время больше периода полураспада в 1–2 раза (относительно защищенные территории) и где это время больше периода полураспада радионуклидов более чем в 2 раза (хорошо защищенные территории). В общем виде, время в течение которого эти радионуклиды могут достичь водоносного горизонта, прямо пропорционально мощности перекрывающих отложений (или мощности вадозной зоны) и эффективной пористости пород (Белоусова, Галактионова, 1994; Зекцер и др. 1995).

3. Степень влияния рассмотренных выше природных факторов на уязвимость подземных вод является различной. Так, достаточно очевидно, что для безнапорных вод основными факторами, определяющими возможность проникновения загрязнителя в подземные воды с поверхности земли, являются мощность, состав и сорбционная способность пород вадозной зоны, а для напорных – соотношение уровней (напоров) оцениваемого и вышележащего безнапорного (т.е. потенциально подверженного загрязнению) водоносных горизонтов и фильтрационные свойства разделяющего их водоупора. Поэтому региональная оценка и картирование уязвимости подземных вод должны проводиться отдельно для основных водоносных горизонтов, воды которых используются сейчас или будут использоваться в перспективе для водоснабжения или для орошения. При этом на картах уязвимости помимо количественных характеристик отражаются также гидрогеологические условия оцениваемых территорий и, прежде всего, основные факторы (условия), определяющие природную защищенность подземных вод от загрязнения.

4. Следует иметь в виду, что в нарушенных, по сравнению с естественными или уже сложившимися (сформировавшимися) условиями, влияние основных факторов на защищенность под-

земных вод может значительно меняться. Так, интенсификация отбора подземных вод из безнапорного горизонта приводит к увеличению глубины залегания грунтовых вод (увеличению мощности вадозной зоны), что меняет (во многих случаях улучшает) их защищенность от загрязнения с поверхности земли.

Иная картина при интенсификации водоотбора из напорного горизонта. Например, если в определенных естественных условиях перетекание сверху в напорный водоносный горизонт потенциально загрязненных подземных вод практически отсутствует, то в условиях эксплуатации при снижении напоров оцениваемого горизонта может произойти изменение соотношений уровней напорного и вышележащего безнапорного горизонта, что значительно увеличит опасность загрязнения рассматриваемого водоносного горизонта и даже может привести к тому, что он из защищенного превратится в незащищенный.

5. Опасность загрязнения подземных вод зависит не только от природных факторов, определяющих защищенность подземных вод, но также и от общего антропогенного воздействия на окружающую среду, т.е. от содержания загрязняющих веществ антропогенного характера в окружающей среде. Для количественной оценки общего загрязнения окружающей среды рекомендуется использовать модуль техногенной нагрузки m (выраженный в тоннах в год на квадратный километр), представляющий собой отношение среднего объема выбрасываемых ежегодно загрязняющих веществ, к площади исследуемого района.

Для характеристики взаимодействия загрязнения подземных вод и окружающей среды В.М. Гольдберг предложил в 1987 г. ввести индекс чувствительности подземных вод к загрязнению P, определяемый, как отношение модуля техногенной нагрузки m к показателю защищенности подземных вод S, выраженный в цифрах, т.е. $P=mt/S$ (где t – время накопления определенного количества загрязняющих веществ на оцениваемой территории,

в годах). Показатель защищенности S определяется из суммы цифр, характеризующих влияние определенного фактора (см. выше). Таким образом чувствительность подземных вод к загрязнению прямо пропорциональна антропогенному воздействию на окружающую среду и обратно пропорциональна природной защищенности подземных вод. Индекс P показывает взаимосвязь между загрязнением окружающей среды и возможностью загрязнения подземных вод. Этот индекс может быть также отражен на карте защищенности подземных вод в различных градациях.

6. Региональная оценка и картирование защищенности подземных вод основаны на анализе и обработке только имеющихся геологических, гидрологических и гидрогеологических данных без проведения специальных дорогостоящих буровых, опытно-фильтрационных или лабораторных работ. Следовательно, эти исследования обычно не требуют больших финансовых затрат.

Результаты количественной оценки и картирования уязвимости подземных вод к загрязнению имеют важное практическое значение. Они могут быть использованы в следующих направлениях:

– для разработки стратегии использования и защиты подземных вод в районах с различной природной уязвимостью;

– для обоснования планов размещения и развития крупных промышленных и сельскохозяйственных проектов с опасными отходами и сточными водами;

– для обоснования использования подземных вод для водоснабжения и ирригации и выбора мест для размещения водозаборов питьевой воды, также как для прогноза изменения качества подземных вод под антропогенным воздействием;

– для гидрогеологического обоснования различных водозащитных мероприятий;



Рис. 6.2.1. Карта защищенности подземных вод от загрязнения штата Калифорния (США)

– для обоснования выбора мест для аккумулирования и хранения стоков.

Одним из важнейших практических результатов оценки и картирования защищенности подземных вод является возможность сравнить различные территории в отношении защищенности подземных вод от загрязнения и решить, какая территория лучше защищена от загрязнения, где существует большая опасность для загрязнения скважин, эксплуатирующих подземную воду для водоснабжения, где в первую очередь необходимы водоохранные мероприятия.

Кроме того эти карты могут использовать различные водохозяйственные организации для планирования мероприятий по улучшению экологической ситуации.

Своевременная оценка защищенности подземных вод позволяет принять необходимые меры по предотвращению негативного изменения их качества и загрязнения. Как правильно отмечает Vrba (Vrba, Zaporozec, 1994), если уязвимость подземных вод не оценена вовремя и не определена стратегия использования и охраны подземных вод, то стоимость восстановления уже загрязненных подземных вод будет намного превышать стоимость мероприятий, направленных на их защиту. Оценка и картирование уязвимости подземных вод должны являться составной частью политики и стратегии использования и охраны подземных вод конкретных регионов. Эти работы должны быть тесно увязаны с общим текущим и перспективным планом охраны окружающей среды.

Глава 7

ВЛИЯНИЕ ОТБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

7.1. Влияние на речной сток

Наиболее значительными экологическими последствиями отбора подземных вод помимо истощения их запасов, снижения их уровня и образования депрессионных воронок является изменение взаимосвязи между подземными водами и поверхностным стоком. Последнее особенно важно учитывать при оценке запасов и экологических последствий работы береговых водозаборов так называемого "инфильтрационного типа". Такие водозаборы располагаются вдоль рек и их эксплуатационные запасы почти полностью формируются за счет фильтрации из реки. Очевидно, что работа таких водозаборов оказывает непосредственное влияние на речной сток. Поэтому естественно, что вопросами изучения взаимодействия поверхностных и подземных вод в условиях эксплуатации последних посвящены многочисленные научные исследования, международные конференции и симпозиумы.

Впервые изменения поверхностного стока под влиянием отбора подземных вод рассматривались в работах С. Тейса (Theis, 1935). С. Тейс анализировал эксплуатацию одиночной скважины с постоянным дебитом вблизи совершенной реки в предположении однородности пласта и бесконечности его простира-

ния в направлении от реки. Многие вопросы взаимодействия поверхностных и подземных вод были впервые теоретически обоснованы М.С. Хантушем (1964), который показал, что при расчетах производительности водозаборов необходимо учитывать влияние границ водоносных пластов, перетекания из соседних водоносных горизонтов и несовершенство гидравлической связи водоносных горизонтах с реками. Позже в работах Е.Л. Минкина (1973) и других авторов было показано, что без надежной оценки изменения поверхностного стока, вызванного эксплуатацией подземных вод, нельзя достоверно обосновать перспективную производительность береговых водозаборов.

Возможное изменение речного стока, вызванное эксплуатацией подземных вод, определяется целым рядом естественных и антропогенных факторов. Среди этих факторов важнейшими являются:

– характер гидравлической связи оцениваемого водоносного горизонта с рекой в разные сезоны года, определяющий режим и динамику подземного стока в реку. Характер этой гидравлической связи зависит прежде всего от соотношения уровней водоносного горизонта и реки как в естественных условиях, так и в период эксплуатации подземных вод, совершенства (полноты) вреза реки в водоносный горизонт, а также от пропускной способности ложа реки, определяемой степенью заилистости и кальматации русловых отложений;

– сезонная изменчивость речного стока в годовом и многолетнем разрезе;

– характер и величина питания и разгрузки водоносного горизонта, включая возможное изменение испарения с поверхности грунтовых вод в результате снижения их уровня под влиянием эксплуатации;

– дебит водозабора и расстояние водозаборных скважин от русла реки;

– продолжительность и режим эксплуатации водозаборов;

– фильтрационные свойства эксплуатируемого водоносного горизонта.

Учет этих факторов необходим при количественной оценке перспективной производительности береговых водозаборов, а также при определении возможных изменений речного стока при эксплуатации подземных вод.

В большинстве случаев при эксплуатации подземных вод, гидравлически связанных с реками, происходят изменения речного стока. Однако характер, направленность и масштабы таких изменений могут варьировать в очень широких пределах на разных стадиях работы водозаборов. Благодаря инерционности водоносных систем изменение речного стока проявляется далеко не сразу; оно значительно сглаживается и "запаздывает" во времени. Более того, в ряде случаев речной сток может даже увеличиваться за счет сброса в реки использованных подземных вод, которые отбираются из более глубоких водоносных горизонтов, не дренированных рекой на исследуемой территории, т.е. гидравлически не связанных с рекой. Эти обстоятельства, а именно инерционность подземных водоносных систем и возможный сброс в реку использованных подземных вод, необходимо учитывать при разработке водохозяйственных балансов отдельных регионов на конкретный период времени. Разработанные в настоящее время методические приемы и модели позволяют прогнозировать возможные изменения речного стока, вызванные эксплуатацией подземных вод, с достаточно высокой для практики точностью. Это, в свою очередь, дает возможность обосновать систему управления производительностью береговых водозаборов, не допускающую катастрофического или неприемлемого для различных отраслей хозяйственной деятельности (рыболовства, судоходства, рекреационных целей) снижения расхода рек. В ряде случаев при прогнозном значительном сокращении меженного речного стока под влиянием эксплуатации подземных вод приходится предусматривать спе-

циальные компенсационные мероприятия, например, сооружение регулирующих плотин и др.

В зависимости от соотношения различных источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод эксплуатируемого горизонта, величина возможного сокращения расхода реки сильно меняется во времени. Даже в случае, когда отбираемые подземные воды в естественных условиях разгружаются только в реки, поверхностный сток длительный период времени может практически не изменяться.

При оценке изменений речного стока широко используются гидродинамические методы расчета, включающие аналитические, численные и аналоговые методы, подробно описанные в специальной литературе (Минкин, 1973; Лукнер, Шестаков, 1976; Черепанский, 1999). Поэтому в настоящем разделе приводятся только некоторые примеры и результаты отдельных оценок влияния интенсивного отбора подземных вод на речной сток.

Весьма подробный анализ влияния эксплуатации подземных вод на речной сток был выполнен Ю.О. Зеегофером с коллегпми (1991) в связи с разработкой "Генеральной схемы объединенной системы водоснабжения г. Москвы и Московской области с использованием подземных источников". Проведенные расчеты изменения отдельных составляющих водного баланса конкретных речных бассейнов региона показали, что в результате отбора подземных вод увеличился приток их к водозаборам из водоносных горизонтов, распространенных за пределами Московской области. При этом возможно сокращение подземного стока в реки, которое за период эксплуатации может достичь 30% от естественного подземного питания рек. Однако реальный ущерб стоку рек 50-ти процентной обеспеченности, даже без учета сброса в реки возвратных вод, будет значительно меньше.

В большей степени ущерб сказывается на реках, дренирующих нижнюю толщу зоны пресных вод, сложенную карбонат-

ными породами каменноугольного возраста, к которой приурочены основные эксплуатируемые водоносные горизонты. По расчетам Ю.О. Зеегофера с соавторами (1991), подземное питание рек из этих горизонтов за период их интенсивной эксплуатации (60–80 лет) по сравнению с естественными условиями сократилось почти на 50%. Однако последнее утверждение относится к достаточно крупным рекам, таким как Клязьма, Москва, Ока, где постоянно имеет место весьма значительный естественный и транзитный сток, который по абсолютной величине во много раз превышает сокращение подземного притока в эти реки. Поэтому при сравнении величины сокращения подземного питания этих рек под влиянием эксплуатации подземных вод со среднегодовыми расходами рек ущерб речному стоку оказывается весьма незначительным. Подчеркнем, что этот оптимистический и важный в практическом отношении вывод относится только к достаточно крупным рекам и к среднегодовым расходам рек. Однако, в отдельные меженные периоды маловодных лет сокращение речного стока в результате интенсивной эксплуатации дренируемых водоносных горизонтов может быть весьма существенным, что необходимо учитывать при проектировании различных сооружений на реках (гидротехническое строительство, рекреационные сооружения и др.).

Значительные работы по прогнозу возможного изменения стока малых рек методами моделирования выполнены в Белоруссии (Черепанский, 1999а, 1999б). Эти работы позволили выделить наиболее опасные с точки зрения сокращения стока участки рек и обосновать мероприятия по предотвращению негативного влияния отбора подземных вод на речной сток.

В отдельных случаях под влиянием водоотбора в результате существенного изменения взаимосвязи напорных и верхних безнапорных горизонтов между собой и с рекой наблюдается активизация геодинамических процессов в береговой зоне.

Все вышеизложенное относительно возможного ущерба речному стоку от эксплуатации подземных вод справедливо без учета возвратного стока, то есть сброса в реку подземных вод после их использования. Если же учесть, что значительная часть используемых пресных подземных вод затем снова сбрасывается обычно в реку, то ущерб речному стоку будет практически ничтожным. Поскольку сброс использованной воды часто происходит не в том месте, где подземная вода разгружалась в реку, возможно перераспределение и изменение меженного режима стока на отдельных участках реки по сравнению с естественным. Это явление осложняется сбросом в реку также использованных поверхностных вод, что затрудняет анализ изменения речного стока под влиянием отбора подземных вод. На отдельных участках рек, особенно в верховьях малых рек и ручьев, наблюдается увеличение расхода, вызванное сбросом в них отработанных (использованных) подземных вод (Зеегофер и др., 1991).

Значительное снижение расходов рек на участках, где сосредоточены крупные водозаборы подземных вод, зафиксированы английскими специалистами.

Польские ученые приводят интересные данные о влиянии многолетней эксплуатации подземных вод на водный режим бассейна р. Драмы (Ковальчик, Кропка, 1993). Здесь под влиянием отбора подземных вод горными выработками значительно уменьшился расход одного из основных притоков, который ранее дренировал водоносный горизонт триаса, а в настоящее время питает грунтовые воды. В этом районе вследствие образования глубокой и широкой депрессионной воронки в пределах эксплуатируемого водоносного горизонта произошли изменения как гидродинамических границ бассейна, так и общей структуры речного стока.

Отмечается значительное снижение расхода реки в районе г. Токио, вызванное сокращением дебита родников, или даже их

исчезновением, под влиянием интенсификации отбора грунтовых вод.

Интенсификация отбора подземных вод из верхних водоносных горизонтов в юго-восточной части Прибрежной равнины (США) привела к уменьшению подземного питания рек и озер этого района (Testa, 1991).

7.2. Влияние на растительность

Как отмечалось выше, в тех районах, где взаимосвязь подземных вод эксплуатируемых горизонтов и вышележащих безнапорных грунтовых вод достаточно тесная, под влиянием водоотбора происходит снижение уровня безнапорных грунтовых вод. Такое снижение уровней грунтовых вод может сказаться на состоянии ландшафтов. Самым чувствительным элементом ландшафтов, реагирующих на изменение уровенной поверхности грунтовых вод, является растительность.

Влияние снижения уровня грунтовых вод на растительность определяется тем, какой режим водного питания растений преобладает – автоморфный или гидроморфный.

При автоморфном режиме питания корни растений не достигают уровня грунтовых вод или высоты капиллярной каймы и растения получают воду только за счет инфильтрации атмосферной влаги в корнеобитаемый слой. Глубина проникновения корней растений, суммированная с высотой капиллярной каймы, часто называется критической глубиной. Если глубина залегания грунтовых вод больше критической глубины режим питания растений влагой является автоморфным, т.е. преимущественно за счет инфильтрующихся атмосферных осадков. Если глубина залегания грунтовых вод меньше критической глубины, значительное участие в питании растений принимают грунтовые воды и такой режим питания растений называется гидроморфным.

Результаты многолетних опытных и экспериментальных исследований (Жоров, 1992; Зеегофер и др., 1991) свидетельствуют, что для подавляющего большинства растений глубина проникновения корней не превышает 5 м. Так, в районе Приокского заповедника в Московской области максимальная глубина проникновения корней для сосны не превышает 3 м (лишь в одном из 17 определений она составляет 3,9 м), для дуба – 5,1 м, для липы – 2,5 м, для березы – 3,4 м, для осины – 4,4 м. При этом основная масса корней находится в верхнем полуметровом слое, т.е. в зоне интенсивной инфильтрации атмосферных осадков.

Аналогичные результаты были получены на территории Аргединского заповедника, где для сосен 10–15-летнего и 60–65-летнего возраста основная масса корней находилась на глубинах соответственно 0,4 и 0,8 м (Судницын, 1979).

Аналогичный порядок глубин проникновения корней известен и для травянистых и культурных растений. В.С. Ковалевский (1994) указывает на параболический вид зависимости продуктивности экосистем от глубины залегания уровня грунтовых вод. Экстремум такой параболы отвечает оптимальным глубинам залегания уровня грунтовых вод в среднем за период вегетации.

По данным различных экспериментальных исследований оптимальная глубина залегания грунтовых вод для хлопчатника составляет в среднем за вегетацию 1,2–1,5 м, для большинства овощных культур – от 0,7 до 1,5 м, для фруктовых садов – 2–3 м. Максимальная продуктивность хвойных лесов, широко развитых в гумидной зоне Восточно-Европейской равнины, отмечается при глубинах залегания уровней грунтовых вод 1,5–2,0 м в супесчаных отложениях.

Высота капиллярного поднятия влаги над поверхностью грунтовых вод определяется литологическим составом пород зоны аэрации. Для песков разного гранулометрического состава она

изменяется от 0,1 до 0,5 м, для легких суглинков и торфяников – до 2,0–2,5 м, для тяжелых суглинков – до 3,0–4,0 м.

Вышеизложенные данные позволяют сделать принципиальный и важный в практическом отношении вывод: при глубине залегания уровней грунтовых вод, гидравлически связанных с эксплуатируемым водоносным горизонтом, ниже критических глубин снижение уровней грунтовых вод, вызванное водоотбором, никак не скажется на растительности. Иными словами это означает, что если уровень грунтовых вод в песках глубже 5 м, а в суглинках глубже 7 м, то никакая сколь угодно интенсивная эксплуатация подземных вод не повлияет на растительные сообщества. Однако, этот вывод справедлив только для типичный растительности гумидной зоны и зоны умеренного увлажнения. Для растений аридного климата, например для эвкалипта, критические глубины, и, следовательно, влияние водоотбора на характер растительности будут совсем иными.

При гидроморфном режиме влаги наилучшие условия произрастания растений, как для естественных фитоценозов, так и для культурных растений, наблюдаются при глубинах уровня грунтовых вод от 0,5 до 2,0 м. В этом же интервале глубин обычно находится и основная масса корней растений. Поэтому понижение или повышение уровней поверхности грунтовых вод относительно указанной оптимальной глубины может оказать негативное влияние на растительность.

Приведем некоторые примеры негативного влияния отбора подземных вод на растительность.

Венгерские ученые отмечают исчезновение ряда растительных форм на прибрежных участках водотоков в горных районах бассейна озера Балатон, вызванное снижением уровней карстового водоносного горизонта в результате интенсивной откачки шахтных и рудничных вод. В работе (Жоров, 1998) указывается, что в Нидерландах в последние десятилетия снижение уровня грунтовых вод на низменных участках привело к потерям в рас-

тительном и животном мире на территориях заповедников. Разработаны предложения по сокращению отбора подземных вод из донных отложений приморской зоны Нидерландов за счет привлечения внешних источников водоснабжения.

Весьма сложная и напряженная ситуация, связанная с интенсивным отбором подземных вод, наблюдается на юге Испании. Здесь в устье р. Гвадалквивир в результате крупного водоотбора подземных вод площадь болотных массивов сократилась с 200 до 27 тыс. га, что отрицательно повлияло на места отдыха птиц при перелетах из Европы в Африку и обратно (Luke, 1992).

В.С. Ковалевский (1994) отмечает, что увеличение мощности зоны аэрации и глубины залегания уровня грунтовых вод, вызванные эксплуатацией подземных вод в долине р. Северский Донец (Россия) привело к исчезновению и усыханию старичных и пойменных озер, иссушению лесов, особенно верхушек деревьев, изменению видового состава растительности. По этой же причине усыхают кедровые рощи в заповеднике на Урале, дубы в районе Лебединского карьера Курской магнитной аномалии, сады в районе г. Краснодара на Северном Кавказе.

При эксплуатации подземных вод в долинах рек аридной зоны, вызывающей развитие обширных депрессионных воронок, во многих районах отмечается гибель влаголюбивой растительности – гидрофитов – и значительное угнетение фреатофитов. Значительный ущерб вызвал крупный отбор подземных вод (около 800 л/с) в долине периодически пересыхающей р. Каракенгир (Центральный Казахстан). Здесь по данным М.А. Хордикайнена произошло высыхание и отмирание растительности и резкое сокращение ее транспирационного расхода. Изменение режима влажности в результате снижения уровня грунтовых вод привело к высыханию луговых трав на прилегающих к водозабору участках долины реки, а сток реки резко сократился.

Известны случаи, когда отбор подземных вод приводит к осушению и даже исчезновению низинных болот, что вызывает угнетение болотной фауны и флоры, отмирание гидрофитной болотной растительности или изменение ее вида.

В бывшей ФРГ в середине 70-х годов период значительного водоотбора подземных вод совпал с рядом засушливых лет, что привело к существенному снижению уровня подземных вод на больших территориях и, как следствие, к изменениям в ландшафтах и растительности. В эти же годы весьма негативное влияние на растительность оказало значительное снижение уровня грунтовых вод, вызванное водоотбором в Западном Берлине.

Однако следует отметить, что в ряде случаев эксплуатация подземных вод приводит к дренированию переувлажненных земель и тем самым оказывает положительное влияние на урожайность трав на заливных приречных лугах и на их видовой состав. Так, на отдельных участках Присухонской низменности, искусственно сдренированных в результате отбора подземных вод и мелиорации, жесткая осоковая низкоурожайная растительность сменилась сочной высококачественной луговой растительностью со значительно более высокой урожайностью (Ковалевский, 1995).

Анализ влияния изменения уровней подземных вод на продуктивность лесов показывает, что в переувлажненной зоне дополнительное дренирование территории в результате крупных откачек подземных вод может повысить бонитет леса, а в засушливых областях – понизить вплоть до гибели леса.

Многочисленные примеры влияния интенсивной откачки подземных вод на ландшафты и растительность различных районов Германии приведены в весьма подробном аналитическом обзоре А.А. Жорова "Подземные воды и окружающая среда" (1995). Ниже приводятся наиболее яркие примеры, заимствованные из этого обзора. Следует подчеркнуть, что Германия является страной, где в наиболее полном виде проводятся комп-

лексные натурные исследования и наблюдения (экспериментальные работы, моделирование, прогнозные расчеты и др.) по оценке влияния интенсивного отбора грунтовых вод на различные компоненты окружающей среды.

На территории Фурбергского поля в Нижней Саксонии в результате снижения уровня грунтовых вод под влиянием их эксплуатации был нарушен водный режим растительности на 470 га лесных и 1400 га луговых площадей, что составляет 5,5% от всей площади Фурбергского поля. Зависимость увлажнения корнеобитаемого слоя от понижения поверхности грунтовых вод под влиянием водоотбора иллюстрируется графиками изменения влажности почв по 105 тестовым ботаническим площадкам. Восточнее г. Фурберга за 25 лет эксплуатации подземных вод их уровень понизился на 4 м, в результате чего мелкоосоковое болото с 15 видами растений превратилось в клеверный луг.

В долине р. Рейн (Гессенские плавни) в период с 1964 по 1982 г. отмечались самые низкие уровни грунтовых вод. В этот период увеличение водоотбора подземных вод совпало с рядом сухих лет. В результате были отмечены угнетение лесной растительности и проседания земной поверхности, вызвавшие повреждения зданий. Суммарный ущерб, включающий повреждения зданий, улиц, железных дорог, ущерб плодовым культурам, затраты на орошение и планировку в сельском хозяйстве, ущерб лесу, оценивался в 16 млн. немецких марок.

Весьма подробные данные о связи наземных экосистем и, в частности, растительности с понижением поверхности грунтовых вод, вызванным их отбором, приводит А. Жоров и по другим районам Германии, где проводятся специальные весьма тщательные многолетние наблюдения за состоянием отдельных компонентов окружающей среды (влажность почвы, положение уровня грунтовых вод в естественных и нарушенных условиях, состав и состояние растительных сообществ, режим речного стока и др.). Автор отмечает, что механизм оценки чувствитель-

ности ландшафтов к снижению уровня грунтовых вод и риска изменений в ландшафтах при водоотборе был отработан при проектировании новых водозаборов в бывшей ФРГ, где рабочая группа "Экология и окружающая среда" в течение 10 лет выполнила ряд проектов по единой методике. В результате этих исследований сформировалась методика и структура этапов работ по оценке экологического риска при водоотборе. Методика основана на анализе водного режима почвенно-растительного слоя и на определении роли в нем фактора грунтового увлажнения. Особое внимание уделяется изучению максимальной высоты капиллярного поднятия для различных разновидностей почв, определению полевой влагоемкости и глубины корнеобитаемого слоя в зависимости от литологии и плотности сложения пород, анализу влияния органического вещества на влажность почвы. При этом были разработаны схемы оценки чувствительности сельскохозяйственных и лесохозяйственных площадей к снижению уровня подземных вод, которые успешно используются при оценке влияния водоотбора на окружающую среду, и служат обоснованием различных природоохранных мероприятий.

В заключение подчеркнем, что основными мероприятиями, позволяющими предотвратить или минимизировать негативное влияние отбора подземных вод на эколандшафты и растительность, являются управление режимом отбора подземных вод крупными водозаборами (во многих случаях – уменьшение отбора), искусственное восполнение запасов подземных вод и регулирование поверхностного стока.

7.3. Влияние на проседание земной поверхности

В результате движения подземных вод происходит массоперенос и перераспределение веществ непосредственно в толще

земной коры. Вынос растворенных веществ с подземным стоком представляет собой один из наиболее важных процессов миграции химических элементов, определяя масштабы подземной денудации. Количественная оценка подземной химической денудации осуществляется путем расчета количества выносимых подземными водами растворенных веществ или времени снижения поверхности земли на определенную величину (например, на 1 метр) под влиянием выноса растворенных веществ подземными водами. В естественных условиях этот процесс проявляется не очень наглядно. Так, например, на территории Прибалтийского артезианского бассейна подземными водами в естественных условиях выносится ежегодно с 1 км^2 площади примерно 30 т растворенных веществ, что вызывает снижение земной поверхности на 0,008 мм/год. В целом, снижение земной поверхности в естественных условиях в результате подземного стока происходит медленно (менее, чем на 1 метр на 100 тыс. лет) постепенно и незаметно для человека, и при всей важности этого процесса для геологического развития Земли, никаких практически значимых негативных последствий для повседневной жизни не наблюдается.

Другое дело – проседание земной поверхности в результате откачки подземных вод, нефти или газа. Ниже рассматривается более подробно проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, что является, как уже отмечалось, одним из проявлений негативного влияния интенсивной эксплуатации подземных вод на окружающую среду.

Как известно, в районах крупных откачек подземных вод формируются обширные понижения пьезометрических уровней (депрессионные воронки), охватывающие часто площади в десятки и сотни квадратных километров.

Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменения пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения

подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних условиях понижения уровней приводят к оседанию поверхности земли, а других – к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на тех территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие – к оседанию земной поверхности.

В зависимости от характера отложений уплотнение пород может быть или преимущественно упругим, восстанавливающимся при подъеме уровня, или преимущественно пластическим, приводящим к необратимой перестройке зернистой структуры отложений. Водоносные горизонты, сложенные скальными отложениями, практически несжимаемы. Галечники, гравелистые и песчаные породы сжимаются мало, но уплотнение их происходит быстро и имеет упругий характер, т.е. при повышении уровня подземных вод породы в значительной мере разуплотняются. Основная часть оседания поверхности связана с уплотнением слабопроницаемых глинистых отложений.

Уменьшение напора в водоносных горизонтах создает гидравлический градиент от перекрывающих глин и других слабопроницаемых пород внутри водоносного горизонта к хорошо проницаемым породам.

Увеличение давления в слабопроницаемом пласте происходит сначала в поровой воде и только по мере удаления воды постепенно передается скелету слабопроницаемых пород. Вследствие малой гидравлической проводимости этих пород вертикальное перемещение воды и последующее уменьшение порового давления происходит медленно.

Нередки случаи, когда в карбонатных породах, содержащих пресные подземные воды хорошего качества, развиваются карстово-суффозионные процессы. Механизм этих процессов в упрощенном виде можно представить следующим образом. Карбонатные породы в результате перерывов в осадконакоплении и под воздействием физического и химического выветривания обычно пронизаны на значительную глубину многочисленными полостями и кавернами различных размеров и конфигураций, заполненными в основном рыхлыми отложениями. При продолжительной и интенсивной откачке напорных вод карбонатных отложений происходит значительное увеличение скоростей фильтрации (в десятки и сотни раз). Это приводит сначала к перераспределению рыхлого заполнителя, а затем к его полному выносу. Кровля образовавшихся пустот уже не может выдержать нагрузки вышележащих водонасыщенных песчано-глинистых отложений, что приводит к медленному оседанию земной поверхности.

Оседания земной поверхности и провалы часто приводят к опасным последствиям. Так, оседания земной поверхности могут вызвать подтопление и заболачивание территорий, деформацию автотрасс, железнодорожного полотна, водопроводных труб и других коммуникаций, изменение уклонов русел рек, деформацию промышленных и гражданских сооружений.

А.А. Коноплянцев и Е.Н. Ярцева (1983) описывают многочисленные случаи оседания и провалов поверхности, вызванных интенсивной эксплуатацией подземных вод.

Оседание земной поверхности широко развито в США. Дж.Ф. Поланд (1981) отмечает, что величины оседаний изменяются от 0,3 м в районе г. Саванна (штат Джорджия) до 9 м в западной части долины Сан-Хоакин (Калифорния). В штате Калифорния общая площадь оседания земной поверхности достигает 18 тыс. км^2. В долине Сан-Хоакин наблюдается одно из самых значительных изменений окружающей среды, вызванное

откачкой подземных вод. Здесь имеется почти 1,5 млн. га орошаемых земель, половина которых охвачена оседанием. В этом районе снижение уровней подземных вод в результате интенсивной их эксплуатации достигло нескольких десятков метров, что вызвало просадки грунтов на отдельных участках до 9 м. В Калифорнии зафиксированы трещины проседания протяженностью до 3,0–3,5 км. В результате неравномерных просадок в отдельных местах нарушается эксплуатация каналов, водопроводов, водозаборных скважин, что требует значительных финансовых расходов.

В Сан-Франциско поверхность земли понизилась на 2,4 м, что привело к необходимости сооружения и систематического наращивания специальных дамб, чтобы сдержать наступление вод залива на сушу. В приморской равнине Лос-Анжелеса уже в течение нескольких десятилетий фиксируются проседания земной поверхности со скоростью 0,7 см/год. Это вызвано комплексным воздействием ряда как антропогенных факторов, таких как откачка нефти, газа и подземных вод, нагнетание пресных вод в районах интрузии морских вод, так и влиянием современной неотектоники.

В Мехико оседание земной поверхности в пределах города за последние 70 лет достигло 10,7 м. В результате были повреждены здания, мостовые, водопроводная и канализационная сети. Дворец изящных искусств, расположенный в центре города, опустился более чем на 3 м ниже уровня окружающих улиц. Для того чтобы прекратить оседание, к городу подвели поверхностную воду и сократили откачку подземных вод. В настоящее время разрабатываются специальные меры по управлению отбором подземных вод и использованием водных ресурсов.

Г. Линд в своей блестящей книге "Вода и город", изданной ЮНЕСКО еще в 1983 г., приводит яркие примеры тесного взаимодействия всех компонентов окружающей среды, включая об-

щие водные ресурсы, подземные воды, поверхность земли и др. В частности им подробно описаны геолого-гидрогеологические условия Венеции, где наблюдается медленное и катастрофическое погружение города в море, вызванное чрезмерным изъятием подземных вод из водоносных пластов в сочетании с влиянием приливов Адриатического моря. Принятые меры были направлены на значительное сокращение откачки подземных вод в районе г. Венеции и использование поверхностных вод р. Силе. И если в период 1952–1968 гг. средняя скорость проседания поверхности земли составляла 5–6 мм в год, то в результате уменьшения откачек (число действующих водозаборных скважин было сокращено на 60%) уровень поверхности земли в Венеции к 1975 г. поднялся на 2 см (Линд, 1984).

Аналогичные проблемы характерны для многих крупных приморских городов, интенсивно эксплуатирующих подземные воды.

Можно привести и другие примеры влияния интенсивного отбора подземных вод на снижение земной поверхности. Так, по данным Технологического института Индонезии, начиная с 1994 г. в результате интенсивной эксплуатации подземных вод почва в г. Джакарта просела местами до 0,5 м. Это привело к подтягиванию соленых морских вод, что вызывает подтопление, а местами и разрушение оснований зданий.

В настоящее время в Мексике, Японии и США известно более 150 районов, где просадки земной поверхности, вызванные интенсивной откачкой подземных вод и разработкой месторождений полезных ископаемых, достигли 10 м.

Даже интенсификация отбора подземных вод в отдельные сезоны года, например. летом для орошения, может вызывать просадки рыхлых грунтов.

Оседание земной поверхности на территории Аллювиальной равнины (Япония) было обнаружено в 1973 г. В восьмидесятые и начале 90-х годов прошедшего столетия скорость проседания,

вызванного снижением напора подземных вод в результате их откачки, достигала в этом районе 2 см в год.

В Японии общая площадь территории, опустившейся под влиянием отбора подземных вод ниже уровня моря, достигает 1200 км^2. В г. Токио в период с 1900 по 1975 гг. оседание земной поверхности достигло 4,7 м.

Принятый в Японии закон о воде имеет целью сократить отбор подземных вод и увеличить использование поверхностных вод. В настоящее время в ряде районов Японии проседание земной поверхности уменьшилось благодаря более рациональному отбору подземных вод и увеличению потребления вод из водохранилищ.

В г. Бангкоке (Таиланд) значительное снижение поверхности земли, обусловленное эксплуатацией подземных вод, отмечается с 1960 г. В настоящее время здесь работают около 15000 водозаборных скважин, отбирающих воду из напорного песчано-гравийного водоносного горизонта, перекрытого глинами.

В Китае в результате интенсивной откачки подземных вод на поверхности земли образовались трещины шириной до 0,5 м.

Просадки земной поверхности, вызванные отбором подземных вод, отмечены также в Малайзии.

В некоторых районах просадки земной поверхности охватывают значительные площади. Так, на Тайване проседание грунтов, вызванное неконтролируемым отбором подземных вод, охватывает территорию в 250 км^2, а максимальное проседание достигает 2,5 м. Вдоль прибрежных равнин острова фиксируются интрузии морских вод. Проводятся мероприятия по сокращению отбора подземных вод в отдельных районах.

В ряде районов проседание земной поверхности, вызванное интенсивным отбором подземных вод, приводит к разрушению существующих гражданских и промышленных сооружений. Такие случаи известны, например, в г. Калькута (Индия), где отме-

чены повреждения зданий, вызванные проседанием поверхности земли со скоростью 1,4 мм/год.

Опасность интрузии морских вод, наряду с оседанием земной поверхности, во многих приморских районах приводит к необходимости ограничивать отбор подземных вод. Такая опасность отмечена в приморских районах Калифорнии, на островах Зеленого мыса, на побережье Мексиканского залива в США, в ряде городов Италии и многих других районах. Интрузия морских вод привела к негативным изменениям качества подземных вод на побережье Израиля. Во многих прибрежных районах Англии существует проблема вторжения соленых вод в водоносные горизонты. Так, на восточном побережье Англии наблюдается вторжение морских вод в водоносный горизонт мела, интенсивно эксплуатируемый для питьевых и промышленных нужд. Специалистами рекомендованы мероприятия по стабилизации отбора воды с целью предотвращения дальнейшего вторжения морских вод.

Интенсивный подток соленых вод в эксплуатируемые водоносные горизонты отмечен на побережье штата Каинсленд (Австралия), где водоотбор почти вдвое превышает современное инфильтрационное питание.

Одним из основных и, вероятно, практически единственным способом борьбы с проседанием земной поверхности является сокращение отбора подземных вод из эксплуатируемых горизонтов и введение постоянного мониторинга за уровнем грунтовых вод и состоянием земной поверхности. Только разработка строгих правил контролируемого отбора подземных вод позволяет предотвратить или снизить отрицательные последствия работы водозаборов там, где геолого-гидрогеологические условия способствуют развитию процессов проседания земной поверхности и (или) интрузии морских вод.

Наиболее наглядным примером борьбы с проседанием земной поверхности и внедрением морских вод являются работы,

проведенные в штате Техас (США). В г. Хьюстоне за 40 лет интенсивной эксплуатации подземных вод проседание земной поверхности в отдельных районах достигло 4 м, что вызвало затопление значительной территории морскими водами. В 1976 г. власти штата Техас приняли меры к сокращению откачки подземных вод в опасных районах и осуществлению ряда мероприятий по искусственному восполнению подземных вод. После этого темпы проседания земной поверхности значительно снизились. Следует подчеркнуть, что Техас является одним из немногих районов мира, где государством проводятся планомерные многолетние исследования (включая стационарные наблюдения, моделирование и прогнозы) по оценке влияния интенсивного отбора подземных вод на проседание земной поверхности.

Образование обширных депрессионных воронок в районах эксплуатации водоносного горизонта Потомак-Маготи, штат Нью-Джерси, США вызвало интрузию морских вод в береговой зоне, что привело к необходимости сокращения вдвое отбора подземных вод крупными потребителями.

Проблема проседания земной поверхности под влиянием откачки подземных вод (аналогичные проседания развиваются и при откачке нефти и газа) привлекает внимание ученых многих стран, которые направляют свои усилия на изучение особенностей и закономерностей проявления проседаний. При этом главными задачами являются прогнозирование развития этого процесса в различных геолого-гидрогеологических условиях, обоснование рационального режима эксплуатации подземных вод, особенно в районах, подверженных проседанию и карстово-суффозионным процессам, а также разработка рекомендаций по предотвращению или сокращению негативных последствий крупного отбора подземных вод в таких районах.

Краткое рассмотрение возможного влияния интенсивного отбора подземных вод на основные компоненты окружающей

среды (речной сток, растительность, эколандшафты) позволяет сделать следующий важный вывод.

Существующее практически повсеместно объективное противоречие между желанием, а часто и необходимостью, отобрать из недр побольше подземной воды и возможным негативным влиянием такого водоотбора на различные компоненты окружающей среды должно рассматриваться на основании данных наблюдений комплексного экологического мониторинга, включая анализ многолетнего опыта эксплуатации подземных вод крупными водозаборами. Такое рассмотрение позволит обосновать масштабы и режим рационального водоотбора с учетом требований по охране окружающей среды.

Глава 8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

8.1.Медико-экологическое значение водного фактора

Медико-экологические аспекты проблемы использования подземных вод в настоящее время, в основном, связаны с обеспечением полноценного и безопасного для здоровья населения хозяйственно-питьевого водопользования.

Следует остановиться на главных положениях, определяющих роль водного фактора в формировании среды обитания человека и здоровья населения. Их рассмотрение сделает более понятными изложенные далее медико-экологические подходы к проблеме использования подземных вод.

Влияние водных ресурсов на условия жизни и здоровье населения определяется прежде всего степенью обеспечения достаточного и безопасного хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, санитарного благоустройства населенных мест, развитием санитарно-курортных зон, воздействием на среду обитания опасных для человека представителей животного мира. Состояние водных ресурсов также определяет возможность развития существующих и создания новых насе-

ленных мест, сельскохозяйственного и промышленного освоения территорий. Эти процессы непосредственно влияют на условия жизни и здоровье населения, определяя изменения воздушного и водного бассейнов, почвы, растительности, характера трудовой деятельности, уровня и качества питания населения, характера миграционных потоков (Эльпинер и др., 1992).

Здоровье населения формируется под воздействием внешних болезнетворных причин и биологических особенностей популяции людей, которые в совокупности составляют "комплекс медико-экологических факторов". Теоретическую и методическую основу медицинской экологии составляют гигиена окружающей среды и общая эпидемиология инфекционных (в том числе паразитарных) и неинфекционных заболеваний.

Комплекс знаний, накопленных в рамках перечисленных дисциплин, свидетельствует о реальных и возможных влияниях водного фактора и, в частности, подземных вод, используемых в питьевых целях, на характер и уровень инфекционных и неинфекционных заболеваний, генетических болезней и особенности развития организма человека.

Значительное нарастание антропогенных загрязнений природных вод, особенно характерных для последних десятилетий, определило интенсивное развитие исследований, направленных на медико-экологическую оценку качества воды водоисточников и питьевой воды, испытывающих влияние антропогенного пресса.

Эпидемические аспекты

Роль водного пути передачи целого ряда инфекционных кишечных заболеваний (брюшной тиф, паратифы, дизентерия, холера, сальмонеллезы, вирусный гепатит и некоторые другие) доказана многолетними эпидемиологическими исследованиями, начатыми еще в конце XIX столетия. Инфекционные болезни,

вызываемые патогенными бактериями, вирусами и простейшими или паразитарными агентами, представляют собой наиболее типичный и широко распространенный фактор риска для здоровья, связанный с питьевой водой.

Загрязнение питьевой воды инфицированными коммунально-бытовыми стоками либо в самом водоисточнике, либо в коммуникациях водопровода – установленная причина многих вспышек кишечных инфекций. Современные методы эпидемиологического анализа, применяемые для определения пути распространения кишечных инфекций, достаточно информативны. Они основаны на идентификации возбудителей (патогенных микроорганизмов), обнаруживаемых в питьевой воде и выделениях заболевших людей. Характерна и картина распространения заболеваний. При децентрализованном водоснабжении обычно устанавливается их связь с одним водоисточником, например колодцем (О состоянии..., 1996).

С водным фактором также тесно связаны многие паразитарные и природно-очаговые заболевания (малярия, описторхоз, дифиллоботриозы, туляремия, лептоспирозы, клещевой энцефалит и др.). Применительно к проблеме питьевой воды среди этих заболеваний особое место занимает лямблиоз (возбудитель – простейший жгутиконосец из рода *Lamblia*), способный вызывать у человека поражения кишечника и печени. Современные эпидемиологические данные относят питьевую воду к основному пути передачи возбудителя этого заболевания. Наличие пораженных этим паразитом людей как правило рассматривается и как признак его присутствия в питьевой воде (Беэр, 1996).

Токсикологические аспекты

Спектр загрязняющих воду веществ необычайно широк. Он включает тяжелые металлы, многие микроэлементы, токсичные

органические соединения, радиоактивные вещества. Значителен и спектр заболеваний, связываемый также с содержанием этих веществ в питьевой воде – заболевания сердечно-сосудистые, пищеварительные, нервные, иммунной системы, опорно-двигательного аппарата, аллергии, страдание наследственностью, дефект развития и другие.

Приводимые ниже обобщенные данные дают представление о характере влияния веществ, наиболее часто обнаруживаемых в питьевой воде (в том числе и подземного происхождения) на состояние здоровья населения (Рахманин и др., 1996; Руководство.., 1994).

Эти сведения касаются как положительного, так и негативного влияния веществ в зависимости от характера их биологического действия и концентрации. При этом имеется в виду, что под суточной потребностью организма человека в том или ином химическом элементе понимается возможность его потребления из различных источников и, прежде всего, из продуктов питания. Однако, здесь необходимо учитывать, что определенную долю некоторых биологически ценных для организма элементов важно получать с питьевой водой в несвязанном виде. С другой стороны, концентрации биологически важных веществ не должны превышать установленные нормативами предельно допустимые уровни содержания в питьевой воде, чтобы не обрести биологически противоположный характер. Следует также отметить, что в тех случаях, когда речь идет только о вредоносном действии вещества, всегда имеется в виду длительное влияние его повышенных концентраций.

Неорганические вещества

Медь. Суточная потребность 2,0–3,0 г. При недостатке – атеросклеротические заболевания кровеносных сосудов и сердца,

анемия, гиперхолестеринемия. При избытке – наличие врожденных заболеваний, изменение водно-солевого и белкового обменов, окислительно-восстановительных реакций крови, нарушения овариально-менструального цикла (ОМЦ), течения родов и лактации. Предельно-допустимая концентрация (ПДК) – 1,0 мг/л (здесь и далее приведены ПДК, принятые в России).

Цинк. Суточная потребность для взрослых 2–3 мг, для детей и беременных женщин 5–6 мг. При недостатке – наличие врожденных заболеваний (карликовость), изменение активности ферментов окислительно-восстановительных реакций, нарушения овариально-менструального цикла, течения беременности, снижение чувства вкуса и обоняния, специфические заболевания кожных покровов. При избытке – анемия, изменение функции центральной нервной системы (ЦНС). На популяционном уровне – увеличение числа заболеваний печени и сердечно-сосудистых заболеваний. ПДК – 1 мг/л.

Фтор. Физиологический оптимум 1,2–1,5 мг/л (в зависимости от географического района). При недостатке – кариес. При избытке – флюороз (крепчатость зубной эмали), полиневриты, гепатит, склеротические изменения костей, артериальная гипотония.

Марганец. Суточная потребность 1,5 мг. При недостатке – снижение скорости роста, нарушение жирового обмена. При избытке — анемия, нарушение функционального состояния ЦНС. ПДК – 0,1 мг/л.

Кобальт. Суточная потребность 40–70 мкг. При недостатке – заболевания системы крови, изменение ее морфологического состава, подавление иммунных и окислительно-восстановительных реакций. При избытке – нарушение функционального состояния ЦНС и щитовидной железы.

Селен. Потребность для человека не установлена, предполагается на уровне мкг, зависит от уровня витамина Е в пище. При недостатке – развитие синдрома “болезнь белых мышц”, на

популяционном уровне – повышение детской смертности. При избытке – ускорение кариеса зубов у детей, злокачественные новообразования. ПДК – 0,001 мг/л.

Алюминий. Оказывает нейротоксичное действие. ПДК – 0,5 мг/л. В настоящее время появились отдельные исследования, отмечающие возможность связи болезни Альцгеймера с избыточным поступлением в организм алюминия, в частности с питьевой водой.

Барий. Воздействует на сердечно-сосудистую и кроветворную (лейкозы) системы. ПДК – 0,9 мг/л.

Бор. Вызывает нарушения углеводного обмена, снижение активности ферментов, раздражение желудочно-кишечного тракта; у мужчин – снижение репродуктивной функции, у женщин – нарушение овариально-менструального цикла. ПДК – 0,5 мг/л.

Кадмий. Повышает уровень сердечно-сосудистой, почечной, онкологической заболеваемости, нарушает ОМЦ, течение беременности и родов, вызывает мертворождаемость, повреждения костной ткани. ПДК – 0,001 мг/л.

Молибден. С повышенными концентрациями связывают увеличение сердечно-сосудистых заболеваний, заболеваемость подагрой, эндемическим зобом, нарушение ОМЦ. ПДК – 0,25 мг/л.

Мышьяк. Обладает нейротоксическим действием, вызывает поражение кожи, органов зрения. ПДК – 0,05 мг/л.

Натрий. Вызывает гипертоническую болезнь, повышенную напряженность мышц. ПДК – 200,0 мг/л.

Никель. Вызывает поражение сердца, печени, органов зрения, кератиты. ПДК – 0,1 мг/л.

Нитраты и нитриты. Вызывают рак желудка, заболевания крови (метгемоглобинемия). ПДК – 45 мг/л и 3,3 мг/л (соответственно).

Ртуть. Грубо нарушает функции почек, нервной системы. ПДК – 0,0005 мг/л.

Свинец. Поражает почки, нервную систему, органы кроветворения, вызывает сердечно-сосудистые заболевания, авитаминозы С и В. ПДК – 0,03 мг/л.

Стронций. Вызывает поражения костного аппарата (стронциевый рахит). ПДК – 7,0 мг/л.

Хром. Нарушает функции печени и почек. ПДК – 0,5 мг/л (трехвалентный) и 0,05 мг/л (шестивалентный).

Цианиды. Поражает нервную систему, щитовидную железу. ПДК – 0,035 мг/л.

Дибромхлорметан и тетрахлорэтилен обладают мутагенным действием, канцерогены. Ориентированно-допустимый уровень (ОДУ) дибромхлорметана в России – 0,03 мг/л. Для тетрахлорэтилена ПДК США – 0,05 мг/л.

Железо. Вызывает раздражение кожи и слизистых, аллергические реакции, болезни крови. ПДК – 0,3 мг/л.

Сульфаты. Нарушают функциональное состояние желудочно-кишечного тракта, вызывают диарею, влияют на кислотность желудочного сока. ПДК – 500 мг/л.

Хлориды. Влияют на состояние сердечно-сосудистой системы (гипертензия, гипертоническая болезнь). При этом речь идет о влиянии как мягких вод, так и излишне жестких. Обобщение современных данных позволяет выделить роль кальция и магния питьевой воды в формировании ряда патологических состояний. ПДК – 250 мг/л.

Кальций. Суточная потребность 0,4–0,7 г (для беременных женщин и грудных детей 1,0–1,2 г). При недостатке в воде – увеличение числа смертельных исходов при сердечно-сосудистых заболеваниях, увеличение тяжести течения рахита, повышенная хрупкость костей, нарушение функционального состояния сердечной мышцы и процессов свертываемости крови. При избытке — мочекаменная болезнь, нарушение водно-солевого обмена, раннее обызвествление костей у детей, замедление роста скелета.

Магний. Суточная потребность 220–260 мг. При недостатке – повышение тяжести течения и числа неблагоприятных исходов сердечно-сосудистых заболеваний, нейромускулярные и психиатрические синдромы, тахикардия и фибрилляция сердечной мышцы. При избытке – возможность развития синдромов дыхательных параличей и сердечной блокады, раздражение желудочно-кишечного тракта в присутствии сульфатов. ПДК – 20,0 мг/л магния хлората.

В последние годы появились работы, где методами корреляционного анализа устанавливается связь раковых заболеваний с наличием в воде пониженной концентрации солей жесткости.

Органические вещества

Подземные воды, используемые для питьевых целей, всегда содержат то или иное количество органических веществ водного происхождения. Спектр их весьма широк. В нем представлены ароматические гумусовые вещества, соединения с карбоксильной, карбонильной и гидроксильной группой, гетероциклические соединения, углеводороды, липоиды, битумы. Однако общее количество природных органических веществ в них, как правило, невелико и составляет единицы и первые десятки мг/л (Крайнов и др., 1997).

С медико-экологических позиций особое внимание привлекают две группы веществ – гумусовые вещества и продукты минерализации азотсодержащих органических соединений – нитриты и нитраты.

Гумусовые вещества не обладают каким-либо вредоносным действием. В избыточных концентрациях они лишь способны придавать питьевой воде нежелательную окраску. В тоже время, при хлорировании воды, содержащей естественно присутствующие гумусовые вещества и бромиды, образуются тригаломе-

таны. Наибольшее значение из этой группы соединений имеют бромоформ, дибромхлорметан, бромдихлорметан и хлороформ, обладающие выраженным канцерогенным действием. Обнаружение эффекта образования токсичных вторичных продуктов хлорирования изменило и гигиеническую оценку природных органических примесей воды водоисточников и ранее бытовавшее мнение о безвредности дезенфекции воды хлором.

С использованием сильных окислителей (хлора, озона) для обеззараживания воды, содержащей природные органические соединения, связывают появление и другого токсического вещества — формальдегида.

Нитраты и нитриты, как это уже отмечалось выше, способны вызывать весьма опасные заболевания. С повышенными концентрациями нитратов в подземной воде связывают заболевания крови (появление извращенной формы гемоглобина – метгемоглобина). Нитриты и нитраты, при попадании в организм человека способны превращаться в N-нитрозоамины – канцерогенные соединения.

Перечень органических веществ антропогенного происхождения, способных загрязнять водоисточники, в том числе и подземные, весьма велик – это сотни соединений. К ним принадлежат хлорированные алканы, этидены, бензолы, ароматические углеводороды, пестициды, побочные продукты обеззараживания воды, а также целый ряд других органических компонентов – продуктов производств органического синтеза, нефтехимической промышленности, а также пластификаторов, растворителей, моющих, красящих средств и др.

Многие из этих веществ способны вызывать один или несколько токсичных эффектов: канцерогенный, генотоксический, мутагенный, нефротоксический (влияние на почки), гепатоксический (влияние на печень). Следует отметить, что в основе представлений о вредном влиянии повышенных концентраций неорганических и органических веществ в питьевой воде лежат

данные развернутых лабораторных исследований на животных, направленных, прежде всего, на разработку стандартов качества питьевой воды. Однако, в последние годы все большее значение приобретают исследования, устанавливающие связи заболеваний человека с тем или иным природным или антропогенным компонентом питьевой воды.

Требования к качеству питьевой воды сейчас устанавливаются как на международном, так и на национальном уровнях. Большинство стран мирового сообщества при создании национальных стандартов принимает в качестве основополагающих документов "Руководство по контролю качества питьевой воды" Всемирной организации здравоохранения, директивы по питьевой воде Европейского Сообщества 80/778/ЕС и национальные стандарты США.

При разработке стандартов питьевой воды общепринят экспериментально-токсикологический метод к установлению предельно допустимых концентраций, в наиболее четкой форме сформулированный российской гигиенической наукой (Руководство..., 1975; Красовский и др., 1990). Применяемая методология предусматривает изучение влияний различных концентраций вещества на самоочищающую способность воды (установление ПДК по общесанитарному нормируемому признаку вредности), на ее вкус, цвет, запах (установление ПДК по органическому признаку вредности), и на характер токсических проявлений при использовании для питья (установление ПДК по токсикологическому признаку вредности). В качестве стандарта выбирается наименьшая из трех установленных ПДК.

Экспериментально-токсикологический подход существенно дополняет развивающиеся сейчас исследования в области экологической эпидемиологии, опирающиеся на эколого-демографические данные и материалы специальных эпидемиологических исследований. Работы этого направления свидетельствуют

о смешении представлений о безусловности вредоносного действия малых концентраций некоторых нормируемых вредных веществ. Современная позиция Всемирной организации здравоохранения в этом отношении стала значительно более осторожна (Guidelines, 1993). С этим, очевидно, связаны и двухуровневые нормативы Агентства по охране окружающей среды США, предусматривающие определение отдельно – максимально допустимого целевого уровня и максимально допустимой концентрации. При этом, однако, оговаривается допустимая степень риска в условиях применения доступных технологий водоподготовки и средств контроля качества воды (National Primary..., 1991).

Значительное нарастание числа загрязняющих воду веществ определило необходимость создания ускоренных экспериментальных методов установления их допустимого содержания. В предложенных для этой цели приемах используются либо известные сведения экспериментальной токсикологии, либо ретроспективный корреляционный анализ заболеваемости населения с потреблением воды определенного состава (эколого-демографический метод).

Целенаправленные санитарно-токсикологические и эколого-эпидемиологические исследования, обосновывающие стандарты, достаточно информативны при разработке профилактических мероприятий, направленных на предупреждение вредных влияний водного фактора.

Современные стандарты качества питьевой воды призваны обеспечивать ее эпидемическую безопасность. С этой целью современные международные стандарты предусматривают необходимость полного отсутствия патогенных бактерий, вирусов и возбудителей паразитарных заболеваний в питьевой воде. Сложность получения результатов исследований биологического состава питьевой воды, и прежде всего, присутствия патогенных организмов, в короткие сроки, послужила основанием

для использования санитарно-показательных микроорганизмов (кишечная палочка) в качестве одного из основных признаков биологического загрязнения. По существу, речь идет об обнаружении фекального загрязнения питьевой воды, с которым связывается попадание в питьевую воду возбудителей инфекционных и паразитарных болезней. Динамика совершенствования этого раздела стандартов свидетельствует о нарастающем ужесточении требований к допустимому уровню содержания кишечных палочек как в воде водоисточника так и в питьевой воде. Последняя редакция "Руководства ВОЗ по контролю качества питьевой воды" (Guidelines, 1993) исключает возможность присутствия этих микроорганизмов в 100 мл исследуемой воды. Исключение составляют требования к очищенной питьевой воде в распределительной сети крупных систем водоснабжения, где обнаружение кишечных палочек допустимо лишь в 5% проб из числа отбираемых на протяжении 12 месяцев. Указанное "Руководство" содержит требования к обязательному обеззараживанию питьевых вод, поступающих в водораспределительную сеть.

Сравнительный анализ международных стандартов, совершенствующихся ВОЗ начиная с 1958 г., обнаруживает тенденцию развития системы контролируемых показателей за счет устойчивого нарастания их числа. Расширение нормативной базы идет, в основном, за счет введения в стандарты многих органических соединений, связанных с усилением антропогенного пресса на поверхностные и подземные водные ресурсы (пестициды, продукты производств органического синтеза, нефтехимической промышленности). В международных нормативах последнего периода четко обозначено крайне негативное отношение к вторичным продуктам взаимодействия сильных окислителей (используемых для обеззараживания воды) с органическими соединениями природного и антропогенного происхождения.

8.2. Медико-экологические аспекты использования подземных вод для питьевого водоснабжения

Оценка качества воды

Сложная экологическая ситуация, сложившаяся во многих развитых и развивающихся странах, особенно в государствах с переходной экономикой, определяет необходимость формирования стратегии и тактики деятельности по охране здоровья населения в конкретных гидрологических и гидрогеологических условиях.

Наличие современных международных и национальных стандартов качества питьевой воды облегчает решение возникающих при этом задач. Однако, экономические аспекты, связанные с необходимостью крупных капиталовложений в водоохранные мероприятия, реконструкцию существующих и строительство новых водопроводных систем и сооружений, совершенствование технологий водообработки, выбор и использование более безопасных водоисточников, заставляют определять этапность достижения поставленных стандартами целей на местном уровне. Обоснование таких решений требует медико-экологической оценки качества используемых вод с целью выявления зависимости ухудшения здоровья конкретных групп населения от качественных и количественных характеристик состава воды. Обнаружение в питьевой воде конкретного вредного вещества, в количествах, превышающих установленный стандарт, является лишь первым сигналом возможного ее влияния на состояние здоровья населения. Это свидетельство того, что водный фактор в данной конкретной ситуации может входить в число причин, определяющих повышенный уровень за-

болеваемости определенного вида. Это лишь ориентировочный уровень индикации причинно-следственных связей. Но именно он определяет направление необходимых исследований, уточняющих степень влияния водного фактора (Эльпинер, 1995).

В составе таких исследований на первом месте оказывается оценка риска для здоровья человека, связанного с качеством окружающей среды и, в частности, используемой питьевой воды. Имеющиеся при этом сложности связаны с дефицитом достаточно надежной информации и необходимых специальных знаний для независимой оценки факторов риска. На преодоление имеющихся здесь пробелов направлено развитие нового дисциплинарного направления – экологической эпидемиологии. Эта дисциплина интегрирует данные в области здравоохранения, статистики и естественных наук. ВОЗ уделяет все большее внимание этому направлению исследований, результаты которых могут применяться для определения первоочередных задач по профилактике заболеваний и борьбе с ними, оценки эффективности лечебно-профилактических мероприятий и выбора необходимых технико-технологических решений (Guidelines, 1993).

В реальных условиях возникает необходимость определения роли конкретного фактора и защитных (адаптационных) механизмов человека в данной экологической обстановке. Приемы, используемые современной экологической эпидемиологией, и направлены на получение таких данных. В основу подходов, используемых экологической эпидемиологией, положено обнаружение различий и сходства в проявлениях конкретной патологии на конкретных территориях с выявлением различий в гипотетических факторах риска. Следует отметить, что количественная оценка зависимости состояния здоровья от конкретного фактора на фоне других, в том числе факторов "образа жизни" (стрессовые состояния, алкоголизм, курение и т.п.), загрязнения окружающей среды в целом, наследственности и медико-санитарного обеспечения, являются сложнейшей задачей. При

ее решении далеко не всегда эффективны методы математического многофакторного анализа (Окружающая среда..., 1996).

Методы, используемые при проведении эколого-эпидемиологических исследований можно подразделить на 2 основные группы:

– методы сбора информации о периоде действия содержащегося в питьевой воде вещества и заболеваемости конкретных лиц;

– методы изучения взаимосвязей между количеством исследуемого вещества в питьевой воде, периодом его действия и заболеваемостью на уровне популяции.

Получение репрезентативных данных зависит от величины используемой выборки в сопоставляемых группах населения и "чистоты" контрольной группы. Решение этой задачи требует проведения весьма сложных и дорогостоящих исследований, построенных на сопоставлении картины заболеваемости репрезентативных групп населения, условия обитания которых максимально близки, но отличаются использованием питьевой воды различного качества по содержанию определенного химического компонента. Еще более усложняется эта задача при установлении действия разных концентраций и экспозиции действия одного вещества, поскольку возникает необходимость значительного расширения числа исследуемых групп населения. При этом, как правило требуется существенное дополнение данных официальной медицинской статистики целенаправленными клиническими обследованиями населения.

Очевидные сложности получения достаточно обоснованных эколого-эпидемиологических данных на крупных территориях послужили основанием для разработки методов оценки факторов риска для здоровья населения путем установления степени опасности и приемлемости для питьевого водопользования различных водоисточников на основании современных санитарно-токсикологических данных. Так, например, в России для этой

цели предназначены две официально принятые гигиенические классификации: 1) распределение вредных веществ по классам опасности и 2) распределение водных объектов по характеру загрязнения.

В первой классификации выделены 4 класса опасности:

1 – чрезвычайно опасные, нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку вредности с ПДК на уровне тысячных и менее мг/л (например, фосфор, безнапорен, некоторые соединения ртути, олова, свинца);

2 – высокоопасные, также нормируемые по санитарно-токсикологическому признаку вредности, как правило, сотыми и десятыми долями мг/л (например, талий, кобальт, вольфрам, перекись водорода, некоторые элементоорганические, гетероциклические и галогеносодержащие вещества, соединения азота, фосфора и др.);

3 – опасные, нормируемые в большинстве случаев по органолептическому признаку вредности в широком диапазоне предельно допустимых концентраций от единиц до сотых долей мг/л (в основном это вещества органической природы, например, амины и их соли, алифатические углеводороды и др.);

4 – умеренно опасные, нормируемые только по органолептическому признаку вредности. Их предельно допустимые концентрации находятся в широком диапазоне величин, но обычно представлены единицами и десятыми долями мг/л.

Критериальной основой распределения водных объектов по характеру загрязнения является степень превышения ПДК (Плитман, 1988). При этом, применительно к веществам, нормируемым по токсикологическому показателю вредности, установлены 4 степени загрязнения: допустимая (1-кратное превышение ПДК), умеренная (3-х кратное), высокая (10-кратное) и чрезвычайно высокая (100-кратное).

Сочетание этих двух классификаций, позволяет оценить и степень опасности выявленного уровня загрязнения водоисточ-

ника и степень его пригодности для питьевого водопользования. Так, обнаружение веществ, принадлежащих к 1 и 2 классу опасности в водоисточнике с "умеренной" степенью загрязнения может привести к появлению начальных симптомов интоксикации у части населения. При "высокой" степени загрязнения этими веществами выявлены выраженные симптомы интоксикации и развитие характерных для обнаруженных веществ патологических эффектов (О состоянии..., 1996). В других случаях градация строится на разнице значении одного и того же показателя здоровья.

В зависимости от степени различия демографических показателей и показателей заболеваемости населения данной территории по сравнению с контрольным районом или средними величинами по речному бассейну или страны в целом принято выделять 4–5 категорий. Например, медико экологическую ситуацию в регионах (или населенных пунктах) подразделяют на 5 категорий: 1 – удовлетворительная, 2 – относительно напряженная, 3 – существенно напряженная, 4 – критическая или чрезвычайная, 5 – катастрофическая или ситуация экологического бедствия (Пинигин, 1993).

Таким образом, методологическая база современных исследований причинно-следственных связей заболеваемости населения с водным фактором позволяет успешно сочетать и эколого-эпидемиологический и экспериментально-токсикологический подходы. Практическую результативность этих подходов демонстрирует большой накопленный опыт международных и отечественных исследовательских работ.

Международный опыт

Анализ более 350 литературных источников последних десятилетий, посвященных влиянию качества питьевой воды на

здоровье населения, обнаруживает широкий спектр исследований, проведенных во многих странах мира. Эти исследования можно подразделить на 3 основные группы:

– исследования, констатирующие наличие вредных веществ в питьевой воде на той или иной территории и обосновывающие в связи с этим необходимость проведения специальных медико-экологических исследований;

– исследования, где наряду с констатацией факторов загрязнения воды оценивается риск для здоровья при ее потреблении на основе ранее известной информации о патогенетической направленности действия выявленных веществ (например, заложенной в обосновании установленных нормативов);

– исследования, устанавливающие причинно-следственные связи заболеваемости населения с особенностями состава питьевой воды методами экологической эпидемиологии и токсикологии.

Следует отметить, что большинство работ, касающихся химических загрязнений воды, принадлежит к первым двум группам. Что касается биологических загрязнений, то в большинстве случаев наличие связей заболеваемости с водным фактором устанавливается на основе развернутых эпидемиологических исследований.

Обращает внимание тот факт, что водный фактор распространения инфекционных заболеваний проявляется прежде всего в связи с использованием загрязненных подземных вод первого водоносного горизонта. Так, по данным Global Consulting for Environmental Health (Moore et al., 1993) большинство (76%) из 34 вспышек инфекций водного происхождения, зафиксированных в 1991–1992 гг. в 17 штатах США, связано с применением для питьевых целей воды из колодцев. Общее число пострадавших – 17464 человека. При этом в 7 из 11 вспышек, где был установлен возбудитель инфекции, им оказались лямблии или криптоспоридии – патогенные представители вида простейших.

Одна из двух других вспышек была связана с инфицированием воды дизентерийными бактериями, вторая – вирусом гепатита А. Следует отметить, что заражение подземных вод криптоспоридиями в последнее время все чаще отмечается в специальной литературе.

Использование плохо защищенных подземных водоисточников оказывается причиной вспышек кишечных инфекций вирусной этиологии. В качестве примеров можно привести вспышку острого гастроэнтерита (до 3000 человек пострадавших), зафиксированную в 1994 году в Финляндии и вызванную использованием колодезной воды (Haupert, 1996).

Водные вспышки кишечных инфекций, связанные с использованием загрязненных подземных вод, отмечены и в ряде регионов России. Однако чаще всего и здесь они связаны либо с колодцами, либо с прибрежными речными инфильтрационными водозаборами, непосредственно зависящими от качества поверхностных вод (О состоянии..., 1996).

Приведенные выше факты подтверждают необходимость значительного повышения внимания к защите подземных водоисточников децентрализованного водоснабжения. Современные методы обеззараживания питьевой воды, применяемые в коммунальных водопроводных системах, существенно снижают риск распространения инфекций водным путем. Однако в ряде случаев распространение инфекции вызвано вторичным микробным загрязнением воды в распределительных сетях (Позин, 1998).

Особую тревогу вызывают сведения о связях наиболее распространенных и опасных раковых заболеваний с использованием химически загрязненных подземных вод. Первые упоминания о возможности таких связей появились десятилетия тому назад в работах, сопоставляющих в общем виде характер заболеваемости населения, потребляющего воду либо из подземных, либо из поверхностных источников. Увеличение числа раковых заболеваний при потреблении населением поверхностных вод

отмечено в штате Огайо (Kuzma et al., 1977) и в Луизиане (Gottlieb et al., 1981). Аналогичные данные получены в исследованиях, проведенных М.М. Морином с коллегами (Morin et al., 1985) в 473 крупных американских городах. Автор отмечает совпадение своих данных с ранними работами американских, британских и канадских ученых, изучавших эту проблему.

Тем не менее, исследования, проведенные позже в США Национальным институтом рака (Cantor, 1997), свидетельствуют об увеличении риска развития раковой патологии и в связи с использованием подземных вод, содержащих повышенные концентрации нитратов, асбестопродукты, радионуклиды, мышьяк и вторичные продукты хлорирования воды. Японские авторы (Sakamoto, 1997), обнаружили положительную корреляцию между раком матки и концентрацией фтора в питьевой воде в 20 районах страны.Исследования, проведенные в Аргентине учеными США, подтверждают связь между повышением смертности от заболеваний раком мочевого пузыря и присутствием в питьевой воде неорганического мышьяка (Gottlieb, 1981).

В современных публикациях все чаще появляются данные о проникновении в подземные воды канцерогенных соединений в связи с утечками топлива. Американские исследователи обращают внимание на обнаружение в питьевой воде из подземных источников метил-3-бутил эфира (MTBE). По данным Б.Р. Штерна (Stern et al., 1997) около 5% населения США употребляют воду с высокими концентрациями этого вещества (от 700 до 14000 частей на миллион).

М.С. Дорисона и С.П. Фелтера (Dourison, Felter, 1997), исследуя вероятность риска раковых заболеваний в связи с загрязнением подземных вод MTBE, установили сохранение токсичности этого соединения при поступлении в организм с питьевой водой и отметили необходимость дальнейшего развития исследований для определения степени влияния MTBE на уровень раковых заболеваний.

Настораживающие результаты дали недавние работы Тайваньских исследователей. Ими изучена связь риска заболевания раком ободочкой кишки с уровнем жесткости питьевой воды из коммунальных водопроводов. Сопоставляя частоту смертных исходов при этом заболевании (1714 случаев) с аналогичным числом смертей от других болезней (с учетом степени жесткости воды, использовавшейся объектами исследований, их возраста и пола), авторы обнаружили статистически достоверное увеличение вероятности рака ободочной кишки при снижении уровня жесткости воды (Stern, 1997).

Японские специалисты на основании исследований в 98 городах и поселениях префектуры Хиого также пришли к новым выводам, касающимся патогенетического влияния солей жесткости питьевой воды (Sakamoto, 1997). Они выявили значимую положительную корреляцию уровня смертности от рака желудка с отношением Mg^{2+}/Ca^{2+} в воде подземных водоисточников, употребляемой для водоснабжения населения.

Однако, справедливо заметить, что еще в 1980 г. в работе Б. Земла (Zemla B., Польша) отмечалась положительная корреляция между низким уровнем смертности от рака желудка и высокой жесткостью питьевой воды.

Риск повышения уровня раковых заболеваний во многих исследованиях связывается с обнаружением в подземных водоисточниках канцерогенных органических соединений антропогенного происхождения. Работы Национального института рака (Allen, 1997) обращают особое внимание на пестицидное загрязнение подземных вод. Так, авторы высказывают предположение о связях повышенной заболеваемости раком молочной железы на Гавайях, с длительным использованием подземных вод, содержащих такие химикаты как хлородан, гептахлор и 1,2-дибром-3-хлорпропан. В то же время исследования Датского технического университета (Bro-Rasmussen, 1996) свидетельствует о способности длительного сохранения в подземных во-

дах целого ряда пестицидов – ДДТ, линдана, долдрина и др. Хорватские исследователи (Goimerac et al., 1996) отмечают загрязнение подземных вод широко используемым канцерогенным гербицидом – атразином. С.М. Догдейм (Dogdeim at al., 1996) в одном из районов Египта обнаружил пестицидное загрязнение окружающей среды (подземные питьевые воды, пища, почва), одновременно установив наличие этих химикатов в женском молоке.

Характерно, что во всех приведенных выше работах отмечается необходимость проведения углубленных исследований степени влияния пестицидных загрязнений подземных вод на здоровье людей.

Оценке риска влияния токсичных органических соединений в подземных водах на здоровье посвящен ряд исследований. Все большее внимание в этом отношении стали привлекать свалки промышленных отходов, загрязняющие почвы, а далее и подземные воды. Повышение токсичности подземных вод в районе муниципальной свалки отмечается в работах (Bruner et al., 1998; Najem et al., 1994). Накопление в подземных водах дихлорацетата – продукта производств промышленных химикатов и лекарственных препаратов, вызывающего новообразования и заболевания печени – также связывают с влиянием свалок промышленных отходов.

При оценке риска влияния подземных вод на здоровье населения все большее значение приобретают работы, посвященные воздействию комплекса загрязняющих веществ. Из последних работ по этой сложной проблеме выделяются исследования Р.С. Янга с коллегами (Yang et al., 1995), посвященные совершенствованию методологии оценки риска химических смесей.

Для ряда токсичных веществ, содержащихся в питьевой воде, отмечены положительные корреляции Al с болезнью Альцгеймера (McLachan et al., 1996), As – с раком мочевого пузыря (Hopenhuyn-Rich et al., 1996). Еще в 70-х годах в США изучалось

влияние вторичных продуктов хлорирования питьевой воды (тригалометанов, образующихся при недостаточной очистке от органических соединений и последующем обеззараживании хлором) на уровень онкологической заболеваемости в Новом Орлеане (Environmental..., 1976). Последующие исследования подтверждают наличие значимой корреляционной связи между раковыми заболеваниями и содержанием в питьевой воде тригалометанов (Hildesheim et al., 1998).

В течение последних 20 лет специалисты ряда развитых стран пытаются подвергнуть существенному пересмотру традиционную оценку жесткости питьевой воды как показателя, влияющего на ее органические свойства и пригодность для хозяйственно-бытовых целей. Это было связано с появлением ряда исследований, предпринятых с целью установления взаимосвязи между степенью жесткости и уровнем сердечно-сосудистых заболеваний среди населения.

Еще в середине 70-х годов Национальным исследовательским экологическим центром (г. Цинциннатти) на основе данных, относящихся к 135 городам США (Environmental..., 1979), была показана отчетливая тенденция к уменьшению общего числа сердечно-сосудистых заболеваний по мере роста жесткости потребляемой питьевой воды. Проведенные экспериментальные исследования базировались на представлениях о возможных заболеваниях сердечно-сосудистой системы в результате влияния не только собственно солевого состава, но, главным образом, ряда элементов, сопутствующих мягким и жестким водам.

В этом отношении представляют интерес данные, полученные национальной лабораторией в Ок-Рижде совместно с университетом штата Теннесси и университетом штата Миссисипи в г. Джексоне (Revis et al., 1980). Эти исследования касаются изучения влияния состава подземных вод на развитие гипертонии и атеросклеротического процесса. Изучение длительного действия питьевых вод с различным уровнем содержания Na, K,

Ca, Mg, Pb, Cd позволило выявить доминирующую роль Cd в возникновении устойчивых гипертонических тенденций при сочетании его с повышенным содержанием Ca и Mg.

В то же время значительное снижение уровня содержания Ca в питьевой воде с повышенным содержанием Na приводило к повышению кровяного давления по сравнению с контрольной группой, где количество кальция было на обычном уровне. Эти опыты явились основанием для суждений о защитной роли Ca питьевых вод по отношению к гипертоническому воздействию других элементов (Na, Cd). Кроме того, было показано, что потребление мягких вод, содержащих Cd и Pb, способствовало развитию атеросклероза и повышению содержания холестерина в плазме крови; присутствие Ca (100 мг/л) в водах оказывало защищающее действие по отношению к Cd и Pb, вызывающим атеросклеротические эффекты. Свидетельства о связи сердечно-сосудистых заболеваний с использованием "мягких" вод, в частности с дефицитом Mg, получены также финскими (Punsar et al., 1979), итальянскими (Masironi et al., 1980), испанскими (Gimeno, Ortiz, 1990), немецкими (Sonneborn et al., 1981), российскими (Плитман, 1988), английскими (Laccy et al., 1984), шведскими (Rubenovits, 1996), тайваньскими (Yang et al., 1996), нидерландскими учеными (Zielnius, 1981). Тем не менее, ссылаясь на недостаточность и некоторую противоречивость данных о патогенетической роли жесткости воды, ВОЗ еще не смогла определиться в вопросе о введении необходимых здесь нормативов (Guidelines..., 1993).

Российский опыт

При оценке качества подземных вод, используемых в России для питьевых целей, в последнее время все большее внимание уделяется антропогенным загрязнениям.

Изучение процессов деградации качества воды целого ряда подземных водоисточников России выявило широкий спектр причин главным образом антропогенного характера. Закачка неочищенных сточных вод в подземные горизонты, аварии на накопителях токсичных отходов, подземное захоронение, утечки из объектов, связанных с нефтью и нефтепродуктами, нарушения режима зон санитарной охраны, проникновение загрязняющих веществ через устье скважин или технические нарушения обсадных труб, подток некондиционных вод из смежных неэксплуатируемых водоносных горизонтов или поверхностных водотоков и водоемов, в том числе интрузия морских вод (образование в подземных водах новых или увеличение содержания имеющихся нормируемых компонентов вследствие процессов физико-химического взаимодействия в системе "вода–порода") – таковы основные причины загрязнения подземных вод, часто достаточно опасного для здоровья населения (Язвин, Зекцер, 1995).

При определении пригодности подземного водоисточника для хозяйственно-питьевых целей ГОСТ 2761-84 подчеркивает необходимость аналитического изучения содержания в воде химических элементов и показателей природного состава (бериллий, бор, железо, марганец, медь, молибден, мышьяк, нитраты, общая жесткость, окисляемость, свинец, селен, сероводород, стронций, сульфаты, сухой остаток, углекислота свободная, фтор, хлориды, цинк), а также наличия промышленных, сельскохозяйственных и бытовых загрязнений. Перечень этих показателей устанавливается по согласованию с санитарно-эпидемиологической службой в зависимости от гидрогеологических и санитарно-эпидемиологических условий.

Следует указать, что в 1996 г. в России введены в действие новые Санитарные правила и нормы, регламентирующие качество питьевой воды (СанПин 2.14.559-96). Этот прогрессивный документ адаптирует многие положения последнего Руко-

водства ВОЗ по контролю качества питьевой воды (Guidelines..., 1993).

Как было показано в предыдущих главах в ряде регионов России водоносные горизонты характеризуются повышенным содержанием железа, фтора, брома, бора, марганца, стронция и других нормируемых микроэлементов (О состоянии..., 1996). Отмечаются все большие масштабы загрязнения подземных вод нефтепродуктами (Лукьянчиков, 1996).

Так, более детальное изучение процессов загрязнения подземных вод в Московском регионе показало, что во всех случаях оно обусловлено расположением большинства водозаборов вблизи производственных источников загрязнения подземных вод. В отдельных эксплуатируемых водоносных горизонтах здесь отмечено превышение в несколько раз стандартов содержания марганца, фтора, хлоридов, мышьяка, селена и свинца. Достаточно часто встречаются и случаи загрязнения подземных вод бактериального характера.

В подземных водах карбонатной толщи Подмосковья установлено наличие аномального (по отношению к стандарту) содержания стронция стабильного природного происхождения. В некоторых водоносных горизонтах Подмосковья его концентрации достигают 30–40 мг/л, что в 5–6 раз превышает ПДК, установленную Госстандартом.

В пределах Московского региона обнаруживаются и аномальные концентрации фтора в подземных водах, незатронутых техногенным загрязнением. Его концентрации изменяются в диапазоне 0,2–0,5 мг/л до 3–5 мг/л, существенно превышая гигиенический норматив (1,5 мг/л). Попутно со стронцием и фтором в повышенных относительно стандартов концентрациях обнаруживаются барий и бор – геохимические спутники стронция и фтора.

Качество подземных вод водозаборов инфильтрационного типа, расположенных вдоль русел рек, непосредственно связа-

но как с уровнем и характером загрязнения реки, так и с барьерными функциями фильтрующих пород. Длительное время, в период сравнительно умеренного антропогенного пресса на поверхностные водоемы, такие водозаборы обеспечивали получение воды достаточно высокого качества.

В последние 10 лет стала все чаще появляться информация иного рода. Прежде всего она связана с резким нарастанием антропогенных загрязнений водоемов. В поверхностные водотоки с недостаточно очищенными (или вообще неочищенными) сточными водами различного происхождения и с поверхностным стоком с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий в большом объеме поступают токсичные вещества, которые практически не удаляются при используемых схемах подготовки питьевой воды.

Например, в р. Волгу ежегодно сбрасывается около 260 тыс. т опасных для здоровья веществ, в том числе через такие притоки как Ока и Кама — 240 тыс. т.

В качестве негативного примера можно привести вспышку острых кишечных заболеваний, связанную с бактериальным загрязнением воды, получаемой на инфильтрационном водозаборе на берегу р. Волги (О состоянии..., 1996). За последние 5 лет число вспышек инфекционных заболеваний водного происхождения ежегодно увеличивается, так как остается высоким удельный вес водопроводов, не отвечающих санитарным нормам и правилам. Обнаруживаемый уровень бактериального и вирусного загрязнения питьевой воды обусловливает постоянно высокий уровень заболеваемости острыми кишечными инфекциями и вирусным гепатитом А на ряде территорий Северного, Восточно-Сибирского и Дальневосточного регионов. За три года (1992–1994) в России зарегистрировано 62 водных вспышки кишечных инфекций с числом пострадавших около 9 тыс. человек. Использование в питьевых целях бактериально загрязненной воды вызвало вспышку холеры в Республике Да-

гестан в 1994 г. (О состоянии..., 1996). В 1995 г. на территории России зарегистрировано 32 водные вспышки дизентерии с общим числом пострадавших 4823 человека, тогда как в 1992 г. было отмечено 16 вспышек водного характера с общим числом заболевших 1242 человека.

Рассматривая вопросы возможного влияния микробного состава поверхностных вод на качество воды инфильтрационных водозаборов, следует обратить внимание на новые результаты научных исследований. Они свидетельствуют о том, что в связи с интенсивным загрязнением открытых водоемов, происходит выделение обитающими в воде микроорганизмами стойких токсических веществ, вызывающих поражение нервной, иммунной и пищеварительной систем человека, а также мутагенные последствия (Guidelines..., 1993). Необходимость изучения возможности проникновения этих соединений через фильтрующие породы не вызывает сомнения.

В последнее десятилетие в России был проведен ряд обстоятельных эколого-эпидемиологических исследований по изучению причинно-следственных связей соматической (неинфекционной) заболеваемости населения с природным и антропогенным загрязнением питьевой воды (О состоянии..., 1996; Плитман, 1989; Рахманин, 1996; Семенов, 1994).

Эти исследования позволили установить, что повышение заболеваемости хроническими нефритами и гепатитами, более высокая мертворождаемость, токсикозы беременности, врожденные аномалии развития у детей связаны с использованием питьевой воды, загрязненной азотсодержащими и хлорорганическими соединениями (гг. Кемерово, Юрга). Потребление подземных вод с высоким природным содержанием бора и брома привело к росту заболеваемости органов пищеварения у детей г. Шадринска Курганской области. Питьевая вода, содержащая алюминий в концентрациях, более чем в 5 раз превышающих норматив, оказывала угнетающее действие на центральную не-

рвную и иммунную систему детей в одном из поселков Новгородской области. При использовании населением среднего Поволжья подземных вод с жесткостью более 10 мг-экв/л и при содержании в ней 300–500 мг/л кальция наблюдалось нарастание частоты случаев заболеваний мочекаменной болезнью. В ряде степных районов европейской территории России использование населением подземных вод с высоким содержанием хлоридов и сульфатов, превышающих норматив в 3–5 раз, обуславливает повышенный уровень сердечно-сосудистых заболеваний, желчно- и мочекаменной болезни. В то же время, заболевания сердечно-сосудистой системы занимают одно из первых мест в спектре причин смертности населения России (О состоянии водоснабжения..., 1996). На примере заболеваемости населения г. Липецка показана связь между повышенным уровнем содержания нитритов в питьевой воде и подавлением кроветворной функции организма человека. Так же установлена прямая связь между крайне высоким уровнем заболеваний пищеварительной и центральной нервной системы, онкологическими заболеваниями населения ряда районов Республики Бурятия с недостатком в питьевой воде ряда микроэлементов. Углубленное медицинское обследование населения Красноярского края и Амурской области выявило неблагоприятное воздействие на минеральный обмен и функциональное состояние центральной нервной системы вод с дефицитом солей кальция и магния.

Анализ данных о содержании фтора в используемой в России питьевой воде показывает, что свыше 60% населения Федерации не получает в необходимом количестве этот микроэлемент. С этим явлением связан чрезвычайно высокий уровень поражения зубов кариесом. Среди детского населения некоторых областей он достигает 80% (Эльпинер, 1995).

Весьма актуальной для России оказалась уже упоминавшаяся выше проблема вторичных продуктов хлорирования воды,

обладающих канцерогенным действием. По имеющимся данным, в половине из городов России питьевая вода не соответствует гигиеническим требованиям по содержанию индикаторного галоформного соединения — хлороформа (Рахманин, 1996). Основной причиной является нарастающий уровень загрязнения водоисточников и частое вынужденное введение режима гиперхлорирования воды. Использование этого приема обеззараживания привело, например, к появлению в 1995 г. в 7,9% проб воды из водопровода г. Нижнего Новгорода хлороформа в концентрациях, превышающих ПДК (Рахманин, 1996). Следует напомнить, что хлороформ — индикаторный показатель присутствия в воде тригалометанов -- вторичных продуктов хлорирования, весьма активных канцерогенов. В то же время рост числа раковых заболеваний среди населения ставит проблему канцерогенеза в один ряд с сердечно-сосудистой патологией (Прохоров, 1992).

Применительно к проблеме использования подземных вод для питьевых целей появление вторичных продуктов хлорирования воды сохраняет свою актуальность, поскольку речь идет об их образовании при взаимодействии хлора с природными гуминовыми соединениями или органическим загрязнением. Первые могут обнаруживаться в составе подземных вод, качество которых формируется под влиянием верховых заболоченных территорий, вторые могут появляться в инфильтрационных водозаборах в связи с загрязнением речных вод, особенно уже хлорированной органикой.

Выбор водоисточников

Приведенные выше сведения свидетельствуют о важности учета современных медико-экологических интерпретаций гидрогеохимической информации при оценке условий питьевого

водопользования и при выборе новых подземных водоисточников.

Для характеристики качества питьевой воды, получаемой из подземных источников, важна их принадлежность к одной из трех групп районов (Язвин, Зекцер, 1995):

– районы, где пресные воды, подземных водоносных горизонтов по макрокомпонентному и микрокомпонентному составу в естественных условиях полностью отвечают требованиям, установленным для питьевых вод;

– районы, где содержание каких-либо микрокомпонентов в пресных подземных водах отдельных водоносных горизонтов превышает установленные стандарты;

– районы, где распространены подземные воды повышенной минерализации, содержащие повышенные концентрации сульфатов и хлоридов, а также, характеризующиеся повышенной общей жесткостью.

В таких районах часто эксплуатируются водоносные горизонты пресных вод небольшой мощности или линзы пресных вод, плавающие на соленых, в связи с чем при их эксплуатации существенную роль играет подтягивание минерализованных вод.

К этой градации следует добавить районы, где подземные воды содержат антропогенные химические загрязнения в концентрациях, превышающих установленные стандарты. Обычно это наиболее урбанизированные и промышленно освоенные территории с недостаточной естественной защищенностью подземных вод.

Природные условия формирования качества подземных вод влияют на медико-экологические оценки их качества. Здесь необходимо разделять влияние макро- и микроэлементного состава. Первый, определяющий принадлежность воды к тому или иному гидрохимическому классу, имеет существенное значение для оценки ее органолептических свойств (наиболее благоприятны воды гидрокарбонатного класса, кальциево-марганцевой

группы, умеренной минерализации – до 500 мг/л) и вероятного патогенетического влияния повышенных концентраций таких макрокомпоненитов, как сульфаты и хлориды, соли жесткости. Например, существует установленная связь между заболеваемостью уролитиазом и потреблением воды, жесткость которой превышает 15–20 мг-экв/л (Руководство..., 1975).

Как было отмечено выше, с длительным употреблением маломинерализованных мягких вод связывают сердечно-сосудистую патологию В числе причин обозначается дефицит кальция и магния, выступающих в роли протекторов по отношению к часто встречающимся в таких водах токсичным микроэлементам (Плитман, 1989). Приведенные выше данные заставляют обращать внимание и на возможное влияние дефицита Mg^{2+} на уровень раковой патологии.

Природный микроэлементный состав используемых для питьевого водоснабжения подземных вод также может оказать существенное влияние на здоровье населения. При этом имеет значение принадлежность содержащихся в воде микроэлементов к тому или иному классу опасности и уровень их концентраций. К числу микроэлементов принадлежит и фтор, содержание которого сказывается неблагоприятно на стоматологической заболеваемости, как при избыточном, так и недостаточном его количестве в питьевой воде. Что касается обеспечения минимально необходимого содержания микроэлементов в питьевой воде (а большинство из них полезно для человеческого организма в физилогически оправданных микроколичествах), то в современных международных и национальных стандартах качества питьевой воды этот вопрос еще не рассматривается в связи с недостаточностью экспериментальных и эпидемиологических обоснований (Guidelines..., 1993).

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод, что медико-экологические исследования должны обеспечивать надежные основы для выбора новых безопасных подземных водоисточни-

ков и (или) совершенствования методов охраны подземных вод и технологий водоподготовки, что необходимо для обоснования эффективных управленческих водохозяйственных решений, подчиненных приоритетам охраны здоровья населения.

Глава 9

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

9.1. Влияние городских агломераций, промышленного и гражданского строительства на подземные воды

Высокие темпы развития техногенеза, огромные масштабы освоения и усилившаяся интенсивность эксплуатации обширных территорий, расположенных в самых различных географических зонах, приводят к глубоким преобразованиям инженерно-гидрогеологических условий и геологической среды в целом. В результате под влиянием хозяйственной деятельности существенным образом изменяется структура водного баланса территории – появляются новые приходные и расходные статьи, меняются их соотношения по территории и во времени.

На освоенные территории поступает большое количество воды (водопровод, орошение и т.д.), закрытие поверхности земли препятствует процессам испарения, устройство набережных и засыпка мелких рек и оврагов затрудняет разгрузку подземных вод, создаются новые водоносные горизонты, функционирова-

ние различных водопонижающих устройств и техногенные источники питания формируют искусственный режим подземных вод.

Важное практическое значение для оценки и прогноза возможностей использования подземных вод прежде всего для хозяйственно-питьевого водоснабжения имеет анализ изменений их ресурсов и качества под влиянием интенсивной техногенной деятельности (Боревский, Язвин, 1991; Язвин, Зекцер, 1996).

В аридных зонах понижение уровня грунтовых вод с 1 до 2 м может увеличить результирующее питание на 100–200 мм в год (Плотников, 1989). Расчеты баланса подземных вод на некоторых ключевых участках гумидной зоны, в частности в Литве (Сакалаускене, 1977), показывают, что на глубине, при которой прекращается испарение с уровня грунтовых вод, результирующее питание может увеличиваться почти в 2 раза. Понижение уровня грунтовых вод при работе водозаборов вызывает увеличение результирующего питания подземных вод, что сказывается на формировании и величине их эксплуатационных запасов.

Урбанизированные территории являются наиболее ярким примером мощного и, как правило, несбалансированного воздействия на геологическую среду техногенных факторов, весьма часто нарушающих гидрогеологические и геоэкологические условия территории. Поэтому эти территории рассматриваются наиболее детально.

На застроенных территориях происходят существенные изменения условий формирования поверхностного и подземного стока, нарушается характер их гидравлической связи. При этом необходимо подчеркнуть, что если в естественных условиях изменение гидрогеологической обстановки носит эволюционный характер, так как происходит за периоды, определяемые масштабами геологического времени (миллионами лет), то здесь изменения происходят за периоды времени, определяемые десят-

ками лет (и даже отдельными годами) и поэтому носят скачкообразный характер. Эта особенность является часто определяющей при изучении закономерностей формирования ресурсов подземных вод на застраиваемых территориях и их взаимодействий с окружающей средой.

Промышленное и гражданское строительство по разному влияет на подземные воды, приводя к изменению их качества, условий питания и разгрузки. В одних случаях техногенная деятельность приводит к усилению питания подземных вод, обусловленному утечками из водонесущих коммуникаций и различных фильтрационных накопителей отходов, инфильтрацией сточных и поливных вод, конденсацией влаги под сооружениями и асфальтом, созданием прудов и водохранилищ, строительством инженерных сооружений, вызывающих подпор подземных вод (набережные, глубокозалегающие фундаменты и др.). Усиление питания (особенно за счет утечек промышленных сточных вод) может вызвать существенные негативные изменения качества подземных вод. В других случаях строительство и эксплуатация вызывают усиление разгрузки подземных вод (эксплуатация подземных вод, водоотлив из строительных котлованов, линий метрополитенов, отбор воды различными дренажными сооружениями), либо уменьшение их питания (асфальтирование территории, вывоз снега и т.д.).

Увеличение питания подземных вод, т.е. формирование искусственных ресурсов подземных вод и создание искусственных емкостных запасов, сопровождается подъемом уровня грунтовых вод, приводящим к подтоплению территории. Так на территории Горьковской агломерации за 20 лет сформировался новый антропогенный водоносный горизонт, площадь которого за 15 лет наблюдений увеличилась в 4 раза, а подъем уровня составил 10 м. Инфильтрационные потери из водохранилищ, многочисленных прудов, утечки из водонесущих коммуникаций и полив зеленых насаждений в Москве привели к общему уве-

личению питания подземных вод более чем в 3 раза по сравнению с неосвоенными территориями (Боревский и др., 1989).

Подземное пространство современного города буквально насыщено различными водонесущими коммуникациями и все они протекают. Эти утечки составляют огромное количество воды, которое путем инфильтрации поступает в подземные воды. Так, в США потери из сети водоснабжения для старых систем составляют до 30%, а для новых – 7–10%; в России из старых систем – до 35–40%, а в Финляндии в среднем 18%, но в отдельных случаях достигают 34%.

Необходимо отметить, что трубопровод не может не иметь утечек (хотя технически это возможно), иначе он по своей стоимости будет "золотым". Обычно неизбежные минимальные утечки воды на 1 пог. км сети составляют 2,3–7,0 м^3/сут. Это зависит от материала, диаметра, конструкции стыков, величины напора и возраста трубопровода. Однако фактические потери значительно выше. Так удельные (на 1 пог. км сети) утечки в системе водоснабжения Парижа составляют 51,4 м^3/сут, а в Токио – 57,2 м^3/сут.

Концентрированными источниками утечек являются как правило, производства с так называемым "мокрым" технологическим процессом – химические и нефтехимические предприятия, ТЭЦ, очистные сооружения, насосные станции водооборотного цикла, различные резервуары и водоемы.

Инфильтруясь, утечки подпитывают подземные воды, вызывая значительные подъемы их уровня в виде отдельных бугров – до 10–15 м. Такие образования носят случайный характер и весьма трудно прогнозируемы. При этом под источниками утечек образуются техногенные верховодки и дискретные куполовидные поднятия, которые впоследствии могут сливаться и образовывать техногенные водоносные горизонты. Все это вызывает формирование широко развитого в городах весьма опасного процесса подтопления застроенных территорий. Уровень под-

земных вод достигает критического положения, при котором происходит затопление подземных помещений, трасс водонесущих коммуникаций, фундаментов и пр. Нарушаются необходимые условия эксплуатации отдельных сооружений и целых территорий.

Следует отметить, что подтопление в своем развитии носит скрытый характер и его проявления бывают совершенно неожиданными и поэтому весьма опасными, в особенности по своим неблагоприятным последствиям. Этот процесс может носить как региональный, так и локальный характер.

Кроме утечек из водонесущих коммуникаций другими существенными факторами подтопления, а следовательно и дополнительного питания подземных вод, являются те, которые ведут к сокращению расходных статей водного баланса территории. Это, прежде всего, резкое снижение естественной дренированности застроенных территорий. Так, например, в Москве в процессе урбанизации территории за истекшие восемь с половиной веков исчезло более 100 мелких рек и ручьев, около 700 мелких озер, болот и прудов, а в долинах таких рек как Ходынка, Неглинка, Пресня практически засыпана ранее существовавшая овражно-балочная сеть. Следует также отметить, что при застройке как правило, резко нарушаются условия поверхностного стока, а дождевая канализация часто оказывается недостаточной. Процессом подтопления уже поражено более 40% всей территории Москвы.

Важным фактором, ведущим к пополнению запасов подземных вод в городах, является закрытие поверхности земли различными покрытиями – экранами, асфальтом, гражданскими и промышленными сооружениями. Все это приводит к резкому сокращению испарения. Устройство непроницаемых набережных, создание свайных полей (при забивке свай происходит существенное уплотнение связных грунтов), заглубление конструкций значительной протяженности ведет к барражиро-

ванию потоков подземных вод и заметному снижению их разгрузки.

В общем виде процесс подтопления можно определить, как подъем уровня подземных вод к поверхности земли и/или повышение влажности грунтов оснований до и выше их критических значений, определяемых конкретным видом застройки. Это вызывается действием главным образом техногенных и природных факторов, которые приводят к нарушению необходимых условий строительства и эксплуатации различных объектов и застроенной территории в целом, к ухудшению экологической обстановки и наносят заметный экономический ущерб.

Подтопление в городе может иметь не только региональный и локальный, а часто и объектный (точечный) характер. Причем во всех случаях на участках развития подтопления происходят коренные изменения режима подземных вод, а сам процесс движения подземных вод является существенно неустановившимся.

К региональным источникам в масштабе города могут быть отнесены крупные промышленные комплексы, массивы орошения, водохранилища. Так, например, существенное влияние на развитие подтопления оказал подпор подземных вод вследствие заполнения в тридцатые годы Химкинского водохранилища в г. Москве на высоту 20 м. В результате оказались подтоплены ряд районов города, расположенные в долине р. Москвы. При этом водоносный горизонт, заключенный во флювиогляциальных песках под мореной из безнапорного превратился в напорный, что создало угрозу прорывов подземных вод в котлованы и заглубленные помещения.

Другим примером формирования регионального подтопления могут служить свайные поля, создаваемые при массовой застройке целых микрорайонов. В зоне свайного поля грунт настолько уплотняется, что его фильтрационная способность снижается почти что на порядок. Поэтому в потоке грунтовых

вод создается значительный подпор вследствие барражного эффекта свайного поля и вверх по потоку возникает обширная область подтопления. Барраж подземного потока может создаваться и заглубленными частями зданий, вызывая при этом подтопление отдельных участков.

Причиной регионального подтопления может быть также относительно продолжительные остановки водозаборов подземных вод или крупных дренажных систем, что вызывает подъем подземных вод. Так, например, в период второй мировой войны вследствие военных действий на территории г. Харькова прекратил свою работу городской водозабор подземных вод. Это вызвало подъем уровня подземных вод более, чем на 10 м, что привело к подтоплению ряда районов города.

Если региональный тип подтопления во многих случаях может быть учтен при проведении инженерных изысканий, проектировании и последующей эксплуатации застроенной территории, то локальный (объектный) тип подтопления практически непредсказуем. Он связан, главным образом, с ошибками при строительстве и неудовлетворительной эксплуатацией здания, внешних водонесущих коммуникаций и нарушением условий дренирования поверхностного стока на прилегающем участке территории. Локальный тип подтопления имеет в городах весьма широкое, хотя и дискретное распространение.

Локальный тип подтопления формируется уже при длительном простаивании вскрытых котлованов и наполнении их атмосферными осадками. Затем, после строительства фундамента при засыпке котлована происходит образование верховодок. В итоге наступает затопление заглубленных помещений, а часто и капиллярное замачивание стен первого этажа.

Процесс подтопления является многофакторным, формирующимся под действием как техногенных, так и естественных факторов. К последним относятся прежде всего естественные сезонные колебания уровней грунтовых вод.

Процессам подтопления наиболее интенсивно подвергаются территории, сложенные слабопроницаемыми и неоднородными породами и характеризующиеся слабой дренированностью.

Борьба с подтоплением подземных вод требует проведения специальных дренажных мероприятий по откачке воды для снижения уровня до нормативных величин. В ряде случаев такой необходимый дренажный эффект может обеспечить работа водозаборных скважин, действующих для подачи воды населению. При этом водозаборы подземных вод выполняют двойную функцию: снабжают население водой хорошего качества и улучшают условия строительства и функционирования подземных сооружений, в том числе метрополитенов, уменьшая водопритоки к ним. В связи с этим прекращение эксплуатации водозаборных скважин может привести к негативным последствиям для подземных сооружений. Так, прекращение отбора подземных вод для водоснабжения в Бруклине (г. Нью-Йорк) привело к подъему уровня подземных вод и затоплению фундаментов и тоннелей метро.

Для формирования процесса подтопления на застроенной территории должны иметься и соответствующие техногенные условия, которые часто создают основные источники питания подземных вод. Установлено, что формирование подтопления происходит уже на начальной стадии строительства, а именно при подготовке территории к строительству (вертикальная планировка, прокладка дорог, нарушающих ранее существовавший рельеф, а, следовательно, и условия поверхностного стока, вскрытие котлованов и траншей, устройство различных водоемов, прокладка временных водонесущих коммуникаций и т.д.). В дальнейшем при развитии строительства (прокладка постоянных подземных коммуникаций и их опробование с одновременной эксплуатацией временных сетей, строительство фундаментов, засыпка котлованов и траншей разрыхленным грунтом,

прокладка дождевой канализации и т.д.) и последующей эксплуатации сооружений, нарушение ранее сложившихся гидрогеологических условий интенсифицируется.

Рассмотренное выше дополнительное питание подземных вод на урбанизированных территориях, как правило, сопровождается прогрессирующим их загрязнением. Источниками загрязнения здесь являются сети промышленной, хозяйственной и дождевой канализаций, места складирования промстоков и различных отходов, а также склады многочисленных продуктов химической промышленности. Утечки из указанных источников, инфильтруясь в подземные воды, заметным образом их загрязняют. При этом резко снижается продуктивность городских зеленых насаждений, происходит деградация почв. В итоге в подземные воды попадают тяжелые металлы, нефтепродукты и многие другие токсичные химические элементы. Загрязнению подземных вод также способствует близость к городу массивов орошения и крупных промышленных предприятий.

Для урбанизированных территорий характерно также тепловое загрязнение подземных вод, вызываемое прогревом приповерхностных слоев земли в районах расположения горячих производств и инфильтрацией горячих утечек (с температурой до 60–70°С). В областях с повышенной температурой интенсифицируется рост гидробионтов, бактерий, усиливается поглощение ими кислорода. При этом следует учесть, что в городах поверхностные отложения, кроме того, весьма насыщены загрязняющими подземные воды компонентами (например, токсичными микрокомпонентами мышьяка, свинца, стронция, кобальта, ртути, кадмия, меди различными радионуклидами). Поэтому даже инфильтрация утечек очищенных вод из сетей питьевого водоснабжения часто приводит к ухудшению качества подземных вод.

В городах при техногенном подъеме уровня подземных вод и проявлении вызванных этим опасных инженерно-геологиче-

ских и гидрогеологических процессов возникает напряженная экологическая ситуация и может произойти:

– затопление заглубленных помещений, в том числе подвалов и станций метро, в результате которого здесь появляется сырость и грибковые образования на стенах; создается благоприятная среда для развития комаров и заболевания людей; резко осложняются условия содержания и ремонта систем водо-, электро- и газоснабжения, ускоряется их износ;

– обводнение грунтов оснований, недопустимое снижение их прочностных и деформационных свойств, активизация опасных геологических процессов (карст, оползни, провалы, суффозия и пр.), что в свою очередь ведет к опасным, часто аварийным деформациям зданий, дорог, инженерных сетей;

– повышение на 1–2 балла сейсмичности застроенной территории, что приводит к заметному снижению сейсмоустойчивости существующих сооружений и к необходимости проведения дополнительных и дорогостоящих антисейсмических мероприятий;

– повышение агрессивности грунтовых вод и коррозионной активности грунтов по отношению к металлу и бетону заглубленных сооружений и коммуникаций;

– недопустимое увлажнение и засоление территорий городских парков, скверов, газонов, ведущее к угнетению зеленых насаждений и удорожанию их содержания, а нередко и к заболачиванию территорий загрязненными канализационными стоками;

– затопление траншей инженерных коммуникаций, что провоцирует многочисленные аварии и наносит ущерб окружающей среде.

На территориях, где подземные воды загрязнены нефтепродуктами, подъем жидких и газообразных нефтяных углеводородов к поверхности земли создает взрыво- и пожароопасную обстановку и ухудшает санитарные условия территории.

На урбанизированной территории в связи с необходимостью создания требуемых условий строительства, а также эксплуатации подземного пространства города ведется искусственное понижение подземных вод. Все это происходит в сочетании с работой городских водозаборов часто в виде дискретно расположенных по территории города скважин.

Эксплуатация сооружений глубокого заложения, например, тоннелей метро и отдельных зданий ведется в обязательном сочетании с работой постоянных водопонижающих устройств.

Снижению инфильтрационного питания подземных вод способствует *экранирование поверхности земли зданиями, асфальтовым* и другим покрытием. Известно, что плотность городской застройки с учетом покрытий площадей и дорог может в отдельных районах города достигать 90%.

Уменьшение питания подземных вод происходит также в результате отвода части поверхностного стока в дождевую канализацию.

В городах в результате интенсивного отбора подземных вод может возникнуть целый ряд неблагоприятных для окружающей среды последствий:

– подтягивание к водозабору загрязненных подземных вод со стороны промышленных зон, участков расположения очистных сооружений, массивов орошения;

– переосушка и деградация почв в городских парках и скверах, гибель влаголюбивых растений;

– сокращение расходов малых рек, развитие процессов проседания земной поверхности;

– активизация многих геологических процессов, например, карстово-суффозионных, что приводит к возникновению провалов и разрушению домов.

В заключение необходимо отметить, что на урбанизированных территориях заметно снижается естественная защищенность подземных вод. Это, в первую очередь, связано с освоением

подземного пространства в городах, так как здесь часто прорезаются слабо проницаемые слои, что способствует проникновению загрязненных городских вод в эксплуатируемый водоносный горизонт.

9.2. Влияние сельскохозяйственного освоения территории

Сельскохозяйственное освоение территории приводит к существенным изменениям ресурсов подземных вод и их качества, вызванным влиянием следующих основных факторов:

– питанием подземных вод, связанным с фильтрационными потерями из магистральных и оросительных каналов, а также инфильтрацией оросительных вод при поливах. Возникающие при этом искусственные ресурсы (дополнительное питание) играют значительную роль в общем балансе подземных вод. Дополнительное питание на орошаемых территориях может превышать естественное результирующее питание и вызывать подъем уровней подземных вод и подтопление орошаемых массивов и смежных территорий. Это дополнительное питание в районах интенсивной эксплуатации подземных вод может играть весьма позитивную роль, как один из источников формирования эксплуатационных запасов. В некоторых случаях фильтрационные потери из оросительных каналов создают условия для формирования линз пресных вод в зонах развития минерализованных вод;

– поступлением в грунтовые воды значительного количества солей (вместе с оросительными водами), возрастающего при растворении солей, содержащихся в породах зоны аэрации, фильтрующимися оросительными водами;

– увеличением расхода подземных вод на испарение и транспирацию с уровня при его подъеме, что приводит к уменьше-

нию результирующего питания, увеличению минерализации подземных вод, а также к засолению почв;

– отбором подземных вод вертикальными и горизонтальными дренажными сооружениями;

– использованием в сельском хозяйстве органических и неорганических удобрений, пестицидов, способствующих проникновению загрязняющих веществ в водоносные горизонты;

– поступлением в подземные воды загрязняющих веществ с полей орошения сточными водами и из фильтрующих накопителей животноводческих комплексов, птицефабрик, ферм.

Влияние большинства из этих факторов приводит, с одной стороны, к увеличению питания подземных вод на орошаемых территориях, а с другой – к загрязнению подземных вод, которое в отличие от загрязнения, обусловленного промышленными предприятиями, распространяется на обширные площади. Основные загрязняющие компоненты – соединения азота, железа, а также пестициды.

В связи с тем, что искусственное питание подземных вод в орошаемых районах играет существенную роль в формировании их эксплуатационных запасов, реконструкция оросительной сети может быть причиной изменения условий их формирования и истощения. Так, увеличение КПД оросительной сети с 0,52 до 0,60 приводит к уменьшению искусственных ресурсов, формирующихся в связи с фильтрационными потерями из оросительных систем, почти на 30% (Мирзаев, Бакушева, 1979).

9.3. Влияние гидротехнического строительства

Гидротехнические сооружения, в первую очередь водохранилища и каналы, являются мощным региональным фактором воздействия на подземные воды и окружающую среду. Зона их

влияния определяется тысячами квадратных километров. В сферу подпора попадают города, леса и пахотные земли.

В результате развития подпора и фильтрационных потерь из водохранилищ и каналов часто наблюдаются следующие явления:

– образуются новые водоносные горизонты, режим которых определяется условиями эксплуатации водохранилищ и каналов;

– возникают и распространяются на сотни километров устойчивые подъемы уровней и напоров подземных вод;

– происходит дополнительное питание основных эксплуатируемых водоносных горизонтов;

– формируются процессы подтопления и затопления прилегающих территорий;

– формируются процессы переработки и абразии берегов, заболачивания, засоления земель, что в итоге может вызвать потери значительных площадей пахотных земель, пастбищ и различных сельскохозяйственных угодий, угнетение растительности.

Создание водохранилищ вызывает подпор грунтовых вод, гидравлически связанных с поверхностными, что, с одной стороны, приводит к образованию антропогенных емкостных запасов в прибрежной зоне водохранилищ при обводнении сухих пород зоны аэрации, а с другой – способствует уменьшению результирующего инфильтрационного питания в связи с возникновением или усилением испарения с их уровня. В большинстве случаев водохозяйственное строительство вызывает благоприятные изменения условий эксплуатации подземных вод. Так, если в естественных условиях на прибрежных участках подземные воды были приурочены к пойменным отложениям, представленным тонкозернистыми песками небольшой мощности с малыми коэффициентами фильтрации, то при создании водохранилищ и затоплении пойменных территорий в прибрежной зоне водоносыщенными становятся отложения террас, характе-

ризующиеся большой мощностью и лучшими фильтрационными свойствами. Это позволяет создавать инфильтрационные водозаборы на участках, где до создания водохранилищ условия для строительства таких водозаборов были неблагоприятными. Оценка изменения привлекаемых ресурсов после строительства Куйбышевского водохранилища показала, что средний линейный модуль привлекаемых ресурсов увеличился с 177,7 до 301,6 л/с·км (Прогноз влияний..., 1984). В некоторых случаях создание водохранилищ привело к формированию новых антропогенных водоносных горизонтов, на базе которых могут сооружаться водозаборы подземных вод (Ковалевский, 1994).

Однако в ряде случаев гидротехническое строительство может вызывать истощение эксплуатационных запасов подземных вод вследствие изменения условий их формирования. Во многих регионах для водоснабжения широко используются месторождения подземных вод речных долин, в которых эксплуатируемый водоносный горизонт в коренных отложениях отделен от реки другим водоносным горизонтом, приуроченным к аллювиальным отложениям. При этом если русловые отложения закольматированы, то при эксплуатации в меженный период происходит сработка емкостных запасов подземных вод аллювиального горизонта с последующим их восполнением в периоды наводнений и паводков. Восполнение зависит от интенсивности и продолжительности паводков. Наиболее полно сработанные запасы восполняются при затоплении пойменных территорий.

Строительство водохранилищ выше района водозабора может существенно ухудшить условия формирования эксплуатационных запасов в связи с сокращением времени прохождения, числа и интенсивности половодий. Так, в долине р. Северского Донца после строительства водохранилища, наблюдается практически полное отсутствие половодий на реке, что привело к постоянному снижению уровня подземных вод на отдельных

водозаборах при неизменном водоотборе. Это вызвало снижение производительности водозаборов и ухудшение качества подземных вод (повышение минерализации и общей жесткости) в связи с подтягиванием солоноватых вод со склонов долины.

Эксплуатационные запасы подземных вод могут истощаться также из-за затопления водохранилищем продуктивного водоносного горизонта в аллювиальных отложениях.

9.4. Влияние разработки месторождений твердых полезных ископаемых

Освоение и эксплуатация месторождений твердых полезных ископаемых в большинстве случаев сопровождаются осушительными и водопонизительными мероприятиями, связанными с интенсивным отбором подземных вод. Это приводит к последствиям, аналогичным отбору подземных вод водозаборными сооружениями (изменение условий питания и разгрузки подземных вод, формирование крупных депрессионных воронок, осушение водоносных горизонтов, изменение химического состава подземных вод). Однако, в отличие от эксплуатации подземных вод водозаборами для водоснабжения, при разработке месторождений твердых полезных ископаемых водоотбор осуществляется из всех водоносных пластов, образующих гидрогеологический разрез. В настоящее время глубины залегания разрабатываемых пластов достигают 600 м, что приводит к большим, чем при эксплуатации водозаборов, понижениям уровней.

Когда разработка месторождений осуществляется с обрушением кровли, улучшаются фильтрационные свойства вышележащих отложений и формируются зоны проводящих трещин. Это часто приводит к усилению инфильтрационного питания подземных вод. Важным фактором, вызывающим изменение ресурсов подземных вод при разработке месторождений твер-

дых полезных ископаемых, является создание хвостохранилищ и гидроотвалов. Эти сооружения, с одной стороны, вызывают увеличение водопритоков к шахтам и карьерам, а с другой – приводят к загрязнению подземных вод.

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых во многих случаях происходит формирование подземных вод специфического химического состава в результате смешения подземных вод различных водоносных горизонтов и их взаимодействия с вмещающими породами, а также непосредственного загрязнения этих вод в горных выработках. В России наибольшее влияние на гидрогеологические условия и ресурсы подземных вод оказывает разработка угольных месторождений в Кузнецком, Подмосковным, Козловском, Печорском бассейнах, железнорудных месторождений КМА, месторождений Северо-Уральского бокситового района и др.

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых приводит к истощению эксплуатационных запасов подземных вод, которое в этих случаях связано не только со сбором откачиваемых вод на разрабатываемом месторождении, но и с выходом из строя действующих водозаборов подземных вод, понижением уровня подземных вод на перспективных участках, а также с загрязнением этих вод. Как показал анализ имеющихся материалов, наиболее крупные воронки депрессии формируются в тех случаях, когда в обводнении горных выработок участвуют водоносные горизонты, имеющие региональное распространение.

Загрязнение подземных вод на месторождениях твердых полезных ископаемых во многом зависит от способов защиты месторождения от обводнения. Обычно химический состав подземных вод и их общая минерализация вне горных выработок и в их пределах существенно различаются. Это связано с окислением подземных вод в горных выработках, с активизацией выщелачивания горных пород, с изменением газового и бактери-

ального состава, а также с непосредственным попаданием в подземные воды нефтепродуктов, масел, взвешенных частиц. На угольных месторождениях очень часто формируются кислые воды, на рудных и угольных отмечается высокое содержание микрокомпонентов (Cd, Zn, Cr, Sr, Ni и др.). Часто наблюдается повышенное содержание сульфатов, хлоридов, а также общей жесткости.

Таким образом, при разработке месторождений твердых полезных ископаемых важной задачей является охрана от загрязнения и истощения эксплуатационных запасов подземных вод. Решение этой задачи требует нового комплексного подхода к созданию дренажных систем (Язвин, 1992). В настоящее время выбор той или иной системы защитных мероприятий от дренажных вод определяется главным образом требованиями достижения необходимого дренажного эффекта при заданной технико-экономической эффективности этих систем. Однако целесообразность параллельного решения задач осушения месторождения и использования подземных вод для водоснабжения отдельных объектов на окружающей его территории предъявляет новые требования к способу осушения и к размещению различного рода каптажных устройств. Должно быть предусмотрено максимально возможное сохранение качества подземных вод при одновременном достижении заданного дренажного эффекта. Поэтому предпочтительны внешние водопонизительные системы, расположенные на оптимальном с точки зрения решения отдельных задач (осушение–водоснабжение) расстоянии от технических границ шахтного или карьерного поля. Обоснование возможности использования дренажных вод для производственного или хозяйственно-питьевого водоснабжения требует проведения специальных гидрогеологических исследований при разведке или разработке месторождений полезных ископаемых. Цель этих исследований – оценка эксплуатационных запасов дренажных вод, которые в соответствии с существующими тре-

бованиями рассматриваются как попутные полезные ископаемые. Методика оценки эксплуатационных запасов подземных вод и особенности гидрогеологического изучения разведуемых и разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых подробно рассмотрены в специальной литературе (Методические рекомендации..., 1992).

Влияние разработки нефтяных и газовых месторождений на ресурсы и качество подземных вод связано главным образом с нагнетанием воды в продуктивный пласт с целью поддержания пластового давления. Оно может привести к загрязнению пресных и слабосолоноватых вод неглубоких водоносных горизонтов при фильтрации нефти и высокоминерализованных вод по зонам тектонической трещиноватости. Так, фильтрация нефти по зоне трещиноватости была достоверно установлена при изучении природы нефтепроявлений, загрязняющих Камское водохранилище в России. Закачка больших объемов пресных поверхностных вод при законтурном и внутриконтурном обводнении может привести к разбавлению ценных минеральных вод и рассолов. Следует отметить, что процессы изменения ресурсов и качества подземных вод при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений изучены в настоящее время явно недостаточно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение еще раз подчеркнем, что проблема использования подземных вод – составная часть общей проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды. Только при комплексном рассмотрении и учете всех аспектов взаимодействия подземных вод с другими компонентами окружающей среды могут быть разработаны долгосрочные программы рационального использования и охраны подземных вод.

В программах и планах использования подземных вод того или иного региона должны быть обязательно учтены природоохранные ограничения отбора подземных вод и рассмотрены возможные изменения ресурсов подземных вод под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности.

Особенно важен учет этих требований при разработке прогноза увеличения отбора подземных вод для централизованного водоснабжения населения, промышленности и сельского хозяйства. Подчеркнем еще раз, что задача специалистов в настоящее время состоит не только в том, чтобы рассчитать, сколько воды можно извлечь из водоносного горизонта в конкретных гидрогеологических условиях в тот или иной период времени, но и оценить возможные изменения в различных компонентах окружающей среды, вызванные отбором подземных вод. В результате такой оценки в случае необходимости должны быть обоснованы и рекомендованы специальные мероприятия по ми-

нимизации негативных последствий отбора подземных вод, особенно при эксплуатации крупных водозаборов.

Самостоятельной, но не менее важной задачей является определение роли подземных вод в общих водных ресурсах и водном балансе отдельных регионов – бассейнов рек, озер и морей.

Решение указанных вопросов, безусловно, будет способствовать повышению эффективности и рациональности использования подземных вод и позволит лицам, принимающим решения, обосновать современные и перспективные планы водообеспечения отдельных регионов.

В настоящей монографии сделана первая попытка рассмотреть и обобщить имеющийся в различных странах опыт изучения взаимосвязи подземных вод с окружающей средой. Автор отчетливо понимает, что целый ряд вопросов рассмотрен в книге весьма кратко, в ряде случаев только в самом общем виде.

Это вызвано двумя основными причинами: во-первых, ограниченностью объема книги и большим количеством детальных публикаций по отдельным и конкретным районам (этот недостаток автор старался компенсировать достаточно большим списком литературы, приведенным в конце книги) и, во-вторых, недостаточной научно-методической разработанностью целого ряда положений. Поэтому в заключение, целесообразно хотя бы в сжатом виде сформулировать основные задачи дальнейших научных и практических исследований по рассматриваемой проблеме.

Эти задачи могут быть представлены в следующем виде:

– усовершенствовать существующие и разработать новые методы оценки ресурсов подземных вод с учетом природоохранных ограничений;

– разработать и внедрить в практику природоохранные критерии, определяющие допустимое влияние отбора подземных вод на другие компоненты окружающей среды, а также допус-

тимое влияние техногенной деятельности на ресурсы и качество подземных вод;

– усовершенствовать существующие и разработать новые методы прогноза изменения ресурсов и качества подземных вод в условиях интенсификации хозяйственной деятельности и возможных изменений климата;

– обосновать принципы ведения мониторинга подземных вод в различных природно-климатических и антропогенных условиях как составной части общего мониторинга водных ресурсов и окружающей среды;

– совершенствовать методы оценки защищенности подземных вод основных водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения, от загрязнения;

– разработать математические модели взаимодействия подземных и морских вод в различных геолого-гидрогеологических условиях береговых зон, а также методы прогноза интрузий морских вод в водоносные горизонты в условиях интенсификации отбора подземных вод приморскими водозаборами.

Решение указанных задач позволит значительно повысить эффективность использования подземных вод, прежде всего для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения.

CONCLUSION

The problem of groundwater use is a composite part of a common problem of rational natural use and environmental protection. Only a joint consideration of all the aspects of interaction between the groundwater and other environmental components can make it possible to elaborate on a long-term program for rational groundwater use and protection.

Nature protection limits for groundwater withdrawal and possible changes of groundwater resources under anthropogenic activity should be discussed in programmes and project of groundwater use for one or another region.

Natural protection restrictions for groundwater withdrawal must be considered and possible changes in groundwater resources under the impact of engineering and economic activities must be investigated. It is paticularly important to work out predictions of increased groundwater pumping for centralized water supply of a population and for industry and agriculture. It should again be stressed that the task of specialists at present is not only to calculate the water volume that can be pumped out of an aquifer in specific hydrogeological conditions during a certain time period, but also to assess the possible changes in different environmental components that may be caused by the withdrawal of groundwater. As a result, specialists must prove and recommend, if necessary, special measures to minimize possible negative consequences of groundwater withdrawal, particularly when exploiting large well fields.

Determining the function of groundwater in total water resources and water balance of separate regions – river basins, lakes, and seas – is a separate, but no less important, problem.

Solving the problems mentioned will absolutely provide for increasing effectiveness and rationality of groundwater use and make it possible for decision makers to prove modern and prospective projects for the water supply of separate regions.

In this book, I have made only a first attempt to considerand generalize the experience available in different countries for studying the interaction between groundwater and the envirinment. I know that a number of aspects are only briefly considered in the book – in some cases, only in general. This is for two main reasons, the first being the limited size of the book and also the great number of detailed publications for separate, specific areas (this I tried to compensate for by providing an extensive list of references). The second reason is the shortage of scientific and methodical development of a number of the aspects. Thus, in conclusion, it is reasonable to briefly formulate the main tasks of futher scientific and practical investigations on the problem considered.

These tasks are following:

– to improve the available and to develop new methods for assessing groundwater resources accounting for natural measures

– to develop and put into practice nature-protecting criteria determining the acceptable impact of groundwater withdrawal on other components of the environment, and also the acceptable effect of anthropogenic activities on groundwater resources and quality

– to perfect the available and to develop new methods for predicting changes in groundwater resources and quality under intensive anthropogenic activities and possible climate changes

– to substantiate the principlies of conducting groundwater monitoring in different natural-climatic and anthropogenic conditions as a component of the general monitoring of water resources and the environment

– to improve methods of assessing groundwater vulnerability to pollution in the main aquifers used for water supply

– to perfect methods of artificial groundwater recharge and to use them more widely in active well fields

– to develop mathematical models of interaction between ground- and marine water in different geologic-hydrogeologic conditions of the coastal zones and also methods for predicting marine-water intrusion into the aquifers under intensified groundwater withdrawal by coastal well fields.

ЛИТЕРАТУРА

Белоусова А.П., Галактионова О.В. К методике оценки естественной защищенности подземных вод от радиоактивного загрязнения // Водные ресурсы. 1994. Т.21. №3. С.340-345.

Белоусова А.П., Галактионова О.В. Загрязнение радионуклидами подземных вод Европейской части России (на примере Калужской и Тульской областей) // Водные ресурсы. 1996. Т.23. №3. С.307-313.

Бергельсон Г.М., Друщиц В.Л., Кузнецов Д.В., Месхетели А.В. Исследования подземного стока в озеро Иссык-Куль // Гелогия морей и океанов. 1986. №2.

Беэр С.А. Паразитологический мониторинг в России (основа концепции) // Мед. паразитол. 1996, №1. С.3-8.

Боревский Б.В., Гроздненский В.Д., Язвин Л.С., Зекцер И.С. Закономерности формирования и использования ресурсов пресных подземных вод для водоснабжения городов и населенных пунктов // Основные проблемы городов. М.: Наука, 1987. С.11-14.

Боревский Б.В., Кочетков М.В., Язвин Л.С. Стратегия изучения и освоения подземных вод для водоснабжения населения России в конце XX – начале XXI веков // Тезисы докл. 3 Междунар. конгр. "Вода: экология и технология". М., 1998.

Боревский Б.В., Язвин Л.С. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. М.: ГИДЭК, 1995.

Боревский Б.В., Язвин Л.С. Состояние и перспективы использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения // Мелиорация и водное хозяйство. 1998. №3.

Брусиловский С.А., Глазовский Н.Ф. Проблемы гидрогеологии океана. В кн. Гидродинамика и осадконакопление. М.: Наука, 1983.

Вартанян Г.С., Шеко А.И., Крайнов С.В. и др. Планирование и управление средой обитания человека. М.: ВСЕГИНГЕО, 1995.

Водные проблемы на рубеже веков. Под ред. М.Г. Хубларяна. М.: Наука, 1999.

Всеволожский В.А. Ресурсы подземных вод южной части Западно-Сибирской низменности. М.: Наука, 1973.

Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. М.: Недра, 1983.

Глазовский Н.Ф., Батоян В.В., Брусиловский С.А. Грязевой вулканизм как источник поступления вещества в Каспийское море // Комплексные исследования Каспийского моря. М.: МГУ, 1976. Вып.5, №6. С.189-200.

Гольдберг В.М. Природные и техногенные факторы защищенности грунтовых вод // Бюлл. МОИП. 1983. №2. С.103-110.

Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.

Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра. 262 с.

Джамалов Р.Г. Подземный сток Терско-Тумского артезианского бассейна. М.: Наука, 1973. 95 с.

Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Месхетели А.В. Подземный сток в моря и мировой океан. М.: Наука, 1977. 94 с.

Жоров А.А. Подземные воды и окружающая среда. Западно-европейский опыт комплексных исследований влияния эксплуатации подземных вод и водопонижения на окружающую среду. М., 1995. 136 с.

Жоров А.А. Подземные воды и окружающая среда. Опыт исследований в Нидерландах для Центральной России. М., 1998. 379 с.

Зеегофер Ю.О., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. Постоянно действующие модели гшидролитосферы территорий городских агломераций. М.: Наука, 1991. 198 с.

Зекцер И.С. Естественные ресурсы пресных подземных вод Прибалтики. М.: Недра, 1968. 105 с.

Зекцер И.С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. М.: Недра, 1977. 173 с.

Зекцер И.С. Подземные воды – источник водоснабжения // Вестник РАН. 2000. Т.70, №12. С.1069-1073.

Зекцер И.С. Подземный океан // Экология и жизнь. 2000. №3 (15). С.54-58.

Зекцер И.С., Джамалов Р.Г. Подземные воды в водном балансе крупных регионов. М.: Наука, 1989. 124 с.

Зекцер И.С., Джамалов Р.Г., Месхетели А.В. Подземный водообмен суши и моря. Л.: Гидрометиздат, 1984. 207 с.

Зекцер И.С., Ковалевский В.С., Джамалов Р.Г. Исследования подземного стока, ресурсов и баланса подземных вод // Водные ресурсы. 1999. №5.

Зекцер И.С., Племенов В.А., Касьянова Н.А. О роли современной тектоники и грязевого вулканизма в водно-солевом балансе Каспийского моря // Водные ресурсы. 1994. Т.21. №4. С.437-443.

Карта подземного стока СССР. Масштаб 1:5000000. М.: ГУГК, 1965.

Карта подземного стока территории СССР. Масштаб 1:2500000. М., 1977.

Карта подземного стока Центральной и Восточной Европы. Масштаб 1:1500000. М.: ГУГК, 1983.

Клиге Р.К. Глобальные изменения в гидросфере. В кн. Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим) М.: Научный мир, 2000. С.171-182.

Клиге Р.К. Изменение глобального водообмена. М.: Наука, 1985. 247 с.

Ковалевский В.С. Многолетние колебания уровней подземных вод и подземного стока. М.: Наука, 1976. 270 с.

Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. М.: Наука, 1983. 204 с.

Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М.: Наука, 1994. 138 с.

Коноплянцев А.А., Ярцева-Попова Е.Н. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод. М.: ВИЭМС, 1983. 48 с.

Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский Ю.Г. Гидрогеология шельфовых областей. Л.: Недра, 1980.

Котляков В.М., Лосев К.С., Лосева И.А. Ледовый баланс Антарктиды // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1977. №1. С.19-53.

Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1997. 237 с.

Красовский Г.Н., Егорова Н.А. Принципы и критерии новой концепции качества воды // Гигиена окруж.среды. М., 1990. 141 с.

Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М.: МГУ, 1960. 344 с.

Куделин Б.И., Зекцер И.С., Попов О.В. Подземный сток как элемент водного баланса территории СССР // Влагооборот в природе и его роль в формировании ресурсов пресных вод. М.: Стройиздат, 1974. С.114-125.

Кулакова Л.С., Лебедев Л.И. Морфоструктура дня Каспийского моря // Проблемы геологии и нефтегазоносности впадин внутренних морей. М., 1981. С.77-79.

Лебедева Н.А. Естественные ресурсы подземных вод Московского артезианского бассейна. М.: Недра, 1972. 148 с.

Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1976. 407 с.

Лукьянчиков В.М. Нефтяное загрязнение подземных вод: масштабы, методика выявления, мониторинг, обоснование защитных мер // Матер. Междунар. конгр. "Вода: экология и технология". М.: Сибико Интернэшнл, 1996. 140 с.

Львович М.И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 253 с.

Минкин Е.Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных под и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач. М.: Стройиздат, 1973. 103 с.

Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. В 4-х т. М.: МГУ, 1998–1999.

Найденов В.И., ПодсечинВ.П. О нелинейном механизме колебаний уровня водоема // Водные ресурсы. 1992. №6. С.5-11.

Объедков Ю.Л. Формирование естественных ресурсов подземных вод аридных районов. М.: Наука, 1986. 148 с.

Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт). М.: Консультационный центр по оценке риска, 1996. 160 с.

О состоянии водоснабжения населения России и мерах по улучшению качества питьевой воды // Мат-лы Межведом. комиссии по экологической безопасности (сент. 1994 г. – окт. 1995 г.). Экологическая безопасность России. Вып.2, разд. 9. М.: Юридическая литература, 1996. С.178-190.

Пинигин М.А. Гигиенические основы оценки степени загрязнения атмосферного воздуха // Гигиена и санитария. М., 1993. №7. С.4-6.

Питьева К.Е. Гидрогеохимические аспекты охраны геологической среды. М.: Наука, 1984. 222 с.

Планирование и управление средой обитания человека. М.: ВСЕГИНГЕО, 1984. 36 с.

Плитман *С.И.* Оценка гигиенической эффективности водоохранных мероприятий // Методические рекомендации. М., 1989. 18 с.

Подземный сток на территории СССР. М.: МГУ, 1966. 303 с.

Подземный сток Центральной и Восточной Европы. М., 1982. 288 с.

Позин С. Г. О гигиенической значимости отдельных факторов, влияющих на качество воды в хозяйственно-питьевом водопроводе // Тезисы докл. III Междунар. конгр. “Вода: экология и технология. М., 1998. С.633-634.

Попов О.В. Подземное питание рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 291 с.

Прохоров Б. Б. Ревич Б.А. Медико-демографическая ситуация в России и состояние окружающей среды // Рабочие Докл. РАН. М.: Центр демографии и экологии человека, 1992. Вып.6. 26 с.

Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Монисов А.А., Роговец А.И., Ческис А.Б. Региональные особенности качества питьевых вод

России и современная методика их комплексной гигиенической оценки // Региональные проблемы управления здоровьем России. М.: РАЕН, 1996. С.162-171.

Руководство по гигиене водоснабжения. Под ред. проф. С.Н.Черкинского. М.: Медицина, 1975. 328 с.

Руководство по контролю качества питьевой воды. Изд. 2-е, т.1. ВОЗ, Женева, 1994. 250 с.

Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения Контроль качества. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996. 111 с.

Семенов С.В. Монисов А.А., Роговец А.И., Эльпинер Л.И. Гигиенические проблемы водоснабжения населения // Мелиорация и водное хозяйство. 1994. №5. С.40-42.

Смирнов А.Я., Григорьев А.И. Методика составления карт защищенности подземных вод на примере Воронежской области // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1992. №1. 105-115 с.

Фиделли И.Ф. Принципы и методы региональной оценки подземного стока // Научные основы изучения и охраны подземных вод. М.: МГУ, 1980. Ч.1. С.14-80.

Хантуш М.С. Новое в теории перетекания // Вопросы гидрогеологических расчетов. М.: Мир, 1965. С.43-61.

Хубларян М.Г. Современные водные проблемы России и пути их решения // Водные проблемы на рубеже веков. М.: Наука, 1999. С.5-10.

Хубларян М.Г., Путырский В.Е., Фролов А.П. Математическое моделирование взаимодействия поверхностных и подземных вод // Водные ресурсы. 1987. №4. С.31-40.

Черепанский М.М. Региональная оценка влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы. 1999. №2. С.30-39.

Черепанский М.М. Гидрогеологические прогнозы влияния отбора подземных вод на речной сток // Природные ресурсы. 1999. №3. С.39-51.

Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. М.: Стройиздат, 1987. 351 с.

Шестопалов В.М. Естественные ресурсы подземных вод платформенных артезианских бассейнов Украины. Киев: Наукова Думка, 1981. 196 с.

Шестопалов В.М., Ситников А.Б., Лялько В.И. и др. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена. Отв. ред. В.М. Шестопалов. Киев: Наукова Думка, 1988. 272 с.

Шило Н.А. Природа колебаний уровня Каспия // ДАН СССР. 1989. Т.305. №2. С.412-414.

Эльпинер Л.И. О влиянии водного фактора на состояние здоровья населения России // Водные ресурсы. 1995. Т.22. №4. С.418-25.

Эльпинер Л.И., Чупис А.В., Панасовский Ю.В. Социально-экологические вопросы использования водных ресурсов. М.: Наука, 1992. 135 с.

Эльпинер Л.К., Зекцер И.С. Междисциплинарный подход к оценке условий использования подземных вод в качестве источника питьевой воды // Водные ресурсыю 1999. Т.26. №4. С.389-396.

Язвин Л.С. Гидрогеолгические исследования для обоснования рационального использования подземных вод с целью хозяйственно-питьевого водоснабжения Московского региона // Геол. вестник Центральных районов России. №1. М, 1998.

Язвин Л.С., Зекцер И.С. Изменение ресурсов подземных вод под влиянием техногенной деятельности // Водные ресурсы. 1996. Т.23. №5. С.517-523.

Язвин Л.С., Зекцер И.С. Ресурсы пресных подземных вод России: современное состояние, перспективы использования, задачи исследований // Водные ресурсы. 1996. Т.23. №1. С.24-30.

Якубов А.А., Дадашев Р.Г., Мехтиев А.К. Закономерности размещения грязевых вулканов на дне Каспийского моря в кн. Геолого-геоморфологические исследования Каспийского моря. М.: Наука, 1983. С.70-72.

Adams B., Foster S.S.D. Land-surface zoning for groundwater protection // J. Institution of Water and Environmental Management. 1992. №6. P.312-320.

Alien RH, Gottlieb M, Clute E, Pongsiri MJ, Sherman J, Obrams Gl. Breast cancer and pesticides in Hawaii: the need for further study. Environ Health Perspect 1997Apr; 105 Suppl 3. P.679-83.

Aller L., Bennet T. et al. DRASTIC: a standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Env. Prot. Agency, Ada, OK, 1987. 455 p.

Aureli A. Methods for evaluating groundwater discharge as applied in southern Italy // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. 152 p.

Bokuniewich. H. Estimating subsea groundwater seepage from a coastal plain // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. 153 p.

Bro-Rasmussen F. Contamination by persistent chemicals in food chain and human health. Sci Total Environ 1996 Sept; 188 Suppl. 1:S. P.45-60.

Bruner M.A., Rao M., Dumont J.N., Hull M., Jones T., Bantle J.A. Ground and surface water developmental toxicity at a municipal landfill: discription and weather-related variation Ecotoxicol Environ Saf. 1998. Mar. №39(3). P.215-26.

Buddemeier R.M. Groundwater flux to the ocean: definitions, data, applications, uncertainties // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.16-21.

Burnett W.C., Cable J., Bugne C., Chanton,J. Tracing groundwater flow into surface water using natural ^{222}Radon // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.22-27.

Cable J., Bugne C., Burnett W., Chanton J. Application of ^{222}Radon and CH_4 for assessment of groundwater discharge to the coastal

ocean // Limnol. Oceanogr. 1996. №41(6). P.1347-1353.

Cantor K.R. Drinking water and cancer // Cancer Causes Control. 1997, May; №8(3). P.292-308 .

Carter A.D., Palmer R.C., Monkhouse R.A. Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agricultural practice, particularly with respect to nitrate // Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. The Hage, Proceedings and Information. 1987. №38. P.333-342.

Custodio E. Elements of groundwater flow balance (natural and as affected by man) // Intern Symp. Computation of Groundwater Balance. Varna, 1982. 17 p.

Dogdeim S.M., Mohamed el-Z., Gad-Alla S.A., el-Saied S., Emel S.Y., Mohsen A.M., Fahmy S.M. Monitoring of pesticide residues in human milk, soil, water, and food samples collected from Kafr El-Zayat Governorate // J. AOAC. Int. 1996. Jan-Feb; №79(1). P.111-116.

Dourison M.C., Feiter S.P. Route-to-route extrapolation of the toxic potency of MTBE // Risk Anal. 1997. Dec; №17(6). P.717-725.

Drogue C. Groundwater discharge and freshwater-saline water exchange in karstic coastal zones // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.37-43.

Environmental quality – 1975: The Sixth Annu. Rep. Of the Counc. On Environ. Quality. Wash.: GPO, 1976a, xxxv+763 p.

Environmental Quality – 1978. The Ninth Annual. Rep. Of the Counc. On Environ. Quality. Washington, GPO, 1979, xii+599 p.

Everett L.G., Wilson L.G., Hoylman E.W. Vadoze zone monitoring for hazardous waste sites // Noyes Data Corp. USA. 1984. 358 p.

Gimeno Ortiz A, Jimenez Romano R, Blanco Aretio M, Castillo Moreno A. Relationship of several physico-chemical components in drinking water, hypertension and cardiovascular disease mortality // Rev Sanid Hig Pubiica (Madr). 1990. Jul-Aug; №64(7-8). P.377-385.

Goimerac T., Kartai B., Bilandzic N., Roic B., Rajcovic-Janje R. Seasonal atrazine contamination of drinking water in pig-breeding farm

surroundings in agricultural and industrial areas of Croatia // Bull. Environ Contam Toxicol. 1996. Feb; №56(2). P.225-230.

Gottlieb M.S., Carr J.K., Morris D.T. Cancer and drinking water in Louisiana: colon and rectum // Int. J. Epidemiol. 1981. Jun; №10(2). P.117-125.

Guidelines for drinking-water quality. Second ed. V.1; Geneva. WHO, 1993.

Haupert T.A., Wiersma J.H., Goldring J.M. Health effects of ingesting arsenic-contaminated groundwater // Wis. Med. J. 1996. Feb. №95(2). P.100-104.

Hildesheim M.E., Cantor K.P., Lynch C.F., Dosemeci M., Lubin J., Alavanja M., Craun G. Drinking water source and chlorination byproducts. II. Risk of colon and rectal cancers // Epidemiology. 1998. Jan. №9(1). P.29-35.

Hopenhayn-Rich C., Biggs M.L., Fuchs A., Bergogiio R., Tello E.E., Nicolli H., Smith A.H. Bladder cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Argentina // Epidemiology. 1996. Mar. №7(2). P.117-124.

Jsselmuiden C.B., Gaydos C., Feighner B., Novakosky W.L., Serwadda D., Cans L.H., Vlahov D., Comstock G.W. Cancer of the pancreas and drinking water: a population-based case-control study in Washington County, Maryland // Am. J. Epidemiol. 1992. Oct.1. №136(7). P.836-842.

Kuzma R.J., Kuzma C.M., Buncher C.R. Ohio drinking water source and cancer rates // Am. J. Public Health. 1977. Aug. P.725-729.

Lacey R.F., Shaper A.G. Changes in water hardness and cardiovascular death rates // Int. J. Epidemiol. 1984. Mar. №13(1). P.18-24.

Loaiciga H.A. Climate change and direct groundwater fluxes to the ocean // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.69-76.

Leipnik M., Zektser I.S., and Laociga H. The use of Geographic Information Systems for studying ground water // Water Resources. 1994. V.21. №6. P.608-611.

Margat J. Development or overdevelopment of groundwater reserves? International Symposium on the computation of Groundwater Balance. Varna, Bulgaria, 1982. P.10.

Masironi R., Pisa Z., Clayton D. Myocardial infarction and water hardness in European towns // J. Environ. Pathol. Toxicol. 1980. Sep. №4(2-3). P.77-87.

McLachlan D.R., Bergeron C., Smith J.E., Boomer D., Rifat S.L. Risk for neuropathologically confirmed ^Alzheimer^s disease and residual aluminum in municipal drinking water employing weighted residental histories // Neurology. 1996. Feb. №46(2). P.401-405.

Moore W.S. Quantification of groundwater inputs to the coastal ocean and residence times of coastal water using radium isotopes // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.143.

Moore A.C., Herwaldt B.L., Craun G.F., Calderon R.L., Highsmith A.K., Juranek D.D. Surveillance forwaterborne Disease outbreaks – United States, 1991–1992 // MMWR CDC Surveill Summ. 1993. Nov.19. №42(5). P.1-22.

Morin M.M., Sharrett A.R., Bailey K.R., Fabsits R.R. Drinking water source and mortality in US cities // Int. J. Epidemiol. 1985. Jun. №14(2). P.254-624.

Najem G.R., Strunck T., Feuerman M. Health effects of a Superfund hazardous chemical waste disposal site // Am. J. Prev. Med. 1994. May-Jun. №10(3). P.151-155.

National Primary Drinking Water Regulation. Fed. Register. 1991. 30 Jan.

Oberdorfer J.A. Numerical modelling of coastal discharge: predicting the effects of climate change // Groundwater discharge in the coastal zone. Proceedings of an International Simposium. Comp. By R.W. Buddemeier. Texel: The Netherlands, 1996. P.85-91.

Potie L. Investigations and capture of submarine freshwater springs. Submarine springs at Port Miou. Cassis, France. Second Int. Symp. Groundwater Palermo, 1973. 30 p.

Punsar S., Karvonen M.J. Drinking water quality and sudden death: observations from West and East Finland // Cardiology. 1979. №64(1). P.24-34.

Revis N.W. et al. The effect of calcium, magnesium, lead, or cadmium on lipoprotein metabolism and atherosclerosis // J. Environ. Pathol. and Toxicol. 1980. Sept. V.4. №2/3. P.293-304.

Rubenowitz E., Axelsson G., Rylander R. Magnesium in drinking water and death from acute myocardial infarction // Am. J. Epidemiol. 1996. Mar.1. №143(5). P.456-62.

Sakamoto N., Shimizu M., Wakabayashi I., Sakamoto K. Relationship between mortality rate of stomach cancer and cerebrovascular disease and concentrations of magnesium and calcium in well water in Hyogo prefecture // Magnes Res. 1997. Sep; №10(3). P.215-223.

Sonneborn M., Mandelkow J. German studies on health effects of inorganic drinking water constituents // Sci. Total Environ. 1981. Apr. №18. P.47-60.

Stern B.R., Tardiff R.G. Risk characterization of methyl tertiary butyl ether (MTBE) in tap water // Risk Anal .1997. Dec. №17(6). P.727-743.

Testa S.M. Elevation changes associaed with groundwater withdrawal and reinjection in the Wilmington area. IAHS Publ. №200. P.485-502.

Theis Ch. The revation beyween rivers and lowering of the piezometric groundwater surface. Trans. Amer. Geophys. Union. 1935.

Vsevolozhsky V, Fidelly I. Subdivision of the area of Central and Eastern Europe for the groundwater flow map at 1:1500000 scale // J. Hydrological Sciences. 1977. V.4. №2.

Vrana M. Cartography of groundwater protection conditions. Hydrogeological principles of groundwater protection. UNESCO and UNER Publ. Moscow, 1984. P.254-259.

Vrba J., Zaporozec A. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. Int. Association Hydrogeologists // Hannover. Heise. 1994. V.16. 131 p.

World map of Hydrogeological Conditions and Ground Water Flow, scale 1:10000000. USA, 1999.

Yamamoto, S. Groundwater resources in Japan with special reference to its use and conservation // IAHS Publ. 1986. №151. P.381-389.

Yang C.Y., Chiu J.F., Chiu H.F., Wang T.N., Lee C.H., Ko Y.C. Relationship between water hardness and coronary mortality in Taiwan // J. Toxicol Environ. Health. 1996. Sep. №49(1). P.1-9.

Yang R.S., el-Masri H.A., Thomas R.S., Constan A.A., Tessari J.D. The application of physiologically based pharmacokinetic/pharmacodynamic (PBPK/PD) modeling for exploring risk assessment approaches of chemical mixtures // Toxicol Lett. 1995. Sep. №79 (1-3). P.193-200.

Zektser I.S. Ground Water discharge into lakes: a review of recent studies with a particular regard to large saline lakes in Central Asia // Int. J. Salt Lakes Research. 1996. V.4. P.233-249.

Zektser I.S. Ground water intrusion into seas and oceans; International Symposium on Water Problems. Korea, 1997.

Zektser I.S. Groundwater Resources of the World and their use. Water: a looming crisis? // Proc. Int. Conference at the Beginning of the 21 Century. Paris. 1988.

Zektser I.S., Dzhamalov R.G., Safronova T.I. The effect of ground water on the salt balance of seas and oceans // Water Quality Bull. 1984. V.9. №1. P.64-69.

Zektser I.S., Belousova A., Dudov V. Regional assessement and mapping of ground water vulnerability to contamination // Environmental Geology. 1995. V.25. №4. P.225-231.

Zektser I.S. Loaiciga H. Ground water fluxes in the global hydrologic cycle: Past, present, and future // J. Hydrology. 1993. V.144. P.405-427.

Zektser I.S., Everett L., Cullen S. Ground water pollution: an international perspective // European Water pollution Control. 1992. V.2. №6.

Zektser I.S., Dzhamalov R.G. Role of ground water in the hydrological cycle and the continental water balance // UNESCO International Hydrological Programme, Paris, IHP-III Project 2. Technical Documents in Hydrology. UNESCO, Paris, 1988. 133 p.

Zektser I.S. Ground water discharge into the seas and oceans: state of the art proc. // Ground water in the coastal zone. Holland, 1996.

Zektser I.S., Bergelson G.M. Effect of ground water on lake water quality // Water Quality Bulletin. 1989. V.14. №1. P.10-15.

Zektser I.S., Everett L., Cullen S., Robinson T. Groundwater Flow map of California, on a 1:2000000 scale, USA.

Zektser I.S. Groundwater and the environment. Lewis Publishers, USA, 2000. 175 p.

Zektser I.S., Meskheteli A.V. Methods for studying submarine discharge of karst water // Proceedings of the 21st IAH Congress "Karst Hydrogeology and Karst Environment Protection". 1988. V.XXI. Part 1. Guilin, China. P.677-681.

Zemla B. Geography of the incidence of stomach cancer in relation to hardness of drinking water and water supply // Wiad Lek. 1980. Jul. 1. №33(13). P.1027-31.

Zielhuis R.L., Haring B.J. Water hardness and mortality in Netherlands // Sci. Total Environ. 1981. Apr. №18. P.35-45.

Научное издание

Зекцер Игорь Семенович

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАК КОМПОНЕНТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Редактор *Д. Н. Коробова*

«Научный мир»
119890, Москва, Знаменка, 11/11
Тел./факс (007) (095) 291-2847
E-mail: naumir@ben.irex.ru.
Internet: http://195.178.196.201/N_M/n_m.htm
Лицензия ИД № 03221 от 10.11.2000

Подписано к печати 13.10.2001
Формат 60x90/16
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,5
Тираж 700 экз. Заказ № 2065

Отпечатано с готовых пленок
в РГУП «Чебоксарская типография № 1»
428019, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 15.

