

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

*Л. Я. Бляхер, А. Т. Григорьян, Б. М. Кедров,
Б. Г. Кузнецов, В. И. Кузнецов, А. И. Купцов,
Б. В. Левшин, С. Р. Микулинский, Д. В. Ознобишин,
З. К. Соколовская (ученый секретарь), В. Н. Сокольский,
Ю. И. Соловьев, А. С. Федоров (зам. председателя),
И. А. Федосеев (зам. председателя),
Н. А. Фигуровский (зам. председателя),
А. А. Чеканов, А. П. Юшкевич,
А. Л. Яншин (председатель), М. Г. Ярошевский.*

**И. В. Гармонов,
П. А. Киселев, М. П. Толстой**

**Григорий Николаевич
КАМЕНСКИЙ**

(1892 – 1959)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1982

Г 20 Гармонов И. В., Киселев П. А., Толстой М. П.
Григорий Николаевич Каменский (1892—1959).— М.:
Наука, 1982. (Научные биографии).

В книге освещены жизнь и деятельность крупного советского учебного гидрогеолога члена-корреспондента АН СССР Григория Николаевича Каменского. Его работы в области динамики, режима ресурсов подземных вод сыграли важную роль в становлении научных основ гидрогеологии, открыли пути решения больших и сложных народнохозяйственных проблем. Значительное место отведено анализу трудов ученого, касающихся закономерностей распределения, генезиса, условий формирования подземных вод, а также развития инженерной гидрогеологии.

Научная биография рассчитана на специалистов гидрогеологов и всех, интересующихся историей отечественной науки.

14.1

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР

П. Ф. ШВЕЦОВ

Введение

Развитие советской гидрогеологии, особенно бурно проявившееся в 30-е годы, в значительной степени было обусловлено запросами быстрорастущего народного хозяйства. В превращении ее из науки чисто описательной в науку, дающую основу для решения крупных и сложных народнохозяйственных проблем, большую роль сыграли труды члена-корреспондента АН СССР, доктора геолого-минералогических наук, профессора Г. Н. Каменского, талантливого ученого и видного педагога, автора крупных монографий и учебников, одного из основоположников гидрогеологической школы в СССР.

С именем Г. Н. Каменского связан важнейший этап становления и развития советской школы гидрогеологов, охватывающий период более 40 лет. Он был ученым широкого профиля. Круг его научных интересов включал вопросы региональной геологии и гидрогеологии; проблемы формирования, динамики, режима и ресурсов подземных вод; задачи инженерной геологии, методики гидрогеологических исследований. Разносторонность научных изысканий Каменского нашла отражение в его печатных трудах.

Имя Г. Н. Каменского пользуется общей признательностью, уважением и любовью. Его знают и высоко ценят советские геологи и гидрогеологи, он широко известен и за границей, особенно в социалистических странах.

Сознательная жизнь ученого совпала с эпохой грандиозных преобразований: Великой Октябрьской социалистической революцией, строительством социализма.

Развернувшееся в годы первых пятилеток строительство, особенно гидротехническое, сопровождалось широкими и разносторонними разработками, потребовавшими от гидрогеологов конкретных ответов на вопросы, связанные с теорией движения подземных вод и методикой гидрогеологических исследований. Научные работы Г. Н. Каменского, направленные на изучение этих проблем, сыграли выдающуюся роль в решении гидрогеологических задач при изысканиях под гидротехнические сооружения.

Каменский как специалист-гидрогеолог участвовал в изысканиях Волго-Донского канала, являлся постоянным

консультантом на строительстве канала имени Москвы, руководил работами на Соликамском и Куйбышевском гидроузлах, был консультантом и экспертом на всех стадиях строительства московского метрополитена, Кольчидстроя, сооружений Большой Волги и ряда других. Ученый, деятельность которого была тесно связана с практикой гидротехнического строительства, остро понимал необходимость дальнейшего развития гидрогеологии и формирования на стыке гидрогеологии и гидродинамики новой гидрогеологической дисциплины — динамики подземных вод. Учебник «Динамика подземных вод», составленный Каменским, стал настольной книгой каждого гидрогеолога.

Г. Н. Каменский выполнил многочисленные научные работы по исследованию режима подземных вод, по определению подпора подземных вод в районе водохранилищ, по созданию методики изучения фильтрационных свойств пород, по разработке теории движения подземных вод в неоднородных по проницаемости пластах при различных условиях их залегания и теории движения подземных вод к водозаборным сооружениям, по выяснению ресурсов подземных вод и ряд других. Все это характеризует Г. Н. Каменского как выдающегося, прогрессивного ученого нашей страны.

Автор превосходных учебников и учебных пособий, Г. Н. Каменский, читая цикл лекций по всем основным курсам гидрогеологии, широко использовал материалы собственных исследований. Замечательный педагог высшей школы, он обладал незаурядным талантом воспитателя, любил педагогическую работу. Очень добрый, отзывчивый, принципиальный, ученый верил в молодежь и глубоко содержательными советами помогал расти молодым специалистам.

В данной книге ученики Г. Н. Каменского, исследуя его научные работы, попытались охарактеризовать основные стороны научной, педагогической и организационно-общественной деятельности ученого. «Введение», первая часть и следующие разделы второй части: «Инженерная геология», «Методика гидрогеологических исследований», а также «Заключение» написаны И. В. Гармоновым. Им же подготовлен весь справочный и иллюстративный материал. Остальные разделы второй части: «Учение о динамике подземных вод», «Режим и ресурсы подземных вод» — написаны П. А. Киселевым, «Формирование подземных вод» — М. П. Толстым.

Часть первая

Страницы жизни

Немного биографии

Григорий Николаевич Каменский родился 19 января 1892 г. в с. Клетотки Епифановского уезда Тульской губернии (ныне Скопинский район Рязанской области). Он был первенцем в большой семье торгового служащего, имевшего пять дочерей и пятеро сыновей. С детства привыкший помогать родителям по хозяйству, Григорий любил пахать, косить. Он с удовольствием выполнял значительную долю подобных работ, так необходимых в многолюдной семье, и сохранил привязанность к сельскому хозяйству и деревенскому труду на всю жизнь. Уже живя в Москве и будучи профессором в институте, Григорий Николаевич сам сложил на даче печку, построил летний домик, посадил сад, любил ухаживать за цветами.

Еще одно увлечение, которое прошло через всю жизнь ученого,— страсть к музыке. У него был хороший слух, и он самостоятельно выучился играть на баяне. В Москве он поступил в народную музыкальную школу, которой руководил крупный музыковед Борис Леопольдович Яворский. Здесь Каменский встретил Евгению Николаевну Коронфскую. Вскоре они поженились и счастливо прожили вместе всю жизнь.

Музыкальные способности Григория Николаевича унаследовала его дочь Анна Григорьевна. После окончания консерватории до настоящего времени она преподает музыку в Московском музыкальном училище им. Ипполитова-Иванова.

Привязанность к сельскому хозяйству во многом определила жизнь будущего ученого. Окончив сельскую школу, он поступил в Высшее начальное училище, находившееся в родном селе. Затем уехал учиться в Богородицкое 4-классное сельскохозяйственное училище, которое закончил в два года. В 1910 г. он экстерном выдержал экзамены в Тульской гимназии и в том же году стал студен-



**Студент Московского сельскохозяйственного института
Григорий Каменский**

том Московского сельскохозяйственного института (ныне Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева — ТСХА), а в 1916 г. с отличием завершил курс обучения по инженерно-мелиоративному отделению.

Будучи студентом, Григорий Николаевич работал в отделе земельных улучшений Наркомзема, сначала техником (1912—1913), затем гидрогеологом (1914—1916).

По окончании института он был оставлен при кафедре гидрогеологии для подготовки к преподавательской деятельности. Одновременно Григорий Николаевич работал геологом Комиссии по исследованию фосфоритов (1917) и гидрогеологом Мосгубземотдела и отдела мелиорации Наркомзема.

Заведующим кафедрой гидрогеологии был известный уже в то время ученый — геолог и гидрогеолог профессор А. Н. Семихатов. По-видимому, под его влиянием Григорий Николаевич увлекся гидрогеологией и посвятил себя целиком изучению этой науки.

В 1920 г. Григорий Николаевич как ассистент начал преподавать гидрогеологию на гидромелиоративном факультете в ТСХА. Но основная педагогическая, научная и научно-организационная работа Каменского сосредоточилась в Московской горной академии, где с 1920 г. была создана гидрогеологическая кафедра для подготовки горных инженеров широкого профиля по гидрогеологии и инженерной геологии. В становлении этой специальности большую роль сыграли выдающиеся гидрогеологи В. С. Ильин, О. К. Ланге, А. Н. Семихатов, А. С. Сергеев.

Образование гидрогеологической кафедры потребовало организации лаборатории и введения специальных курсов. Лабораторией стал заведовать Григорий Николаевич, вместе со студентами он проводил здесь опыты по фильтрации и изучению механических свойств водосодержа-

щих пород. Чтение нового специального раздела гидродинамики — динамики подземных вод — Каменский начал в Горной академии в конце 20-х годов. Таким образом, Г. Н. Каменский стоял у истоков создания этой дисциплины. В ее развитии и во внедрении в практику социалистического строительства ему принадлежит ведущая роль.

В Московской горной академии, где преподавали выдающиеся геологи: И. М. Губкин, В. А. Обручев, А. Д. Архангельский, Н. С. Шатский, Г. Ф. Мирчинк, А. Н. Мазарович, Е. В. Милановский, Н. М. Страхов, М. С. Швецов и др., Григорий Николаевич приобрел репутацию серьезного преподавателя, любящего свое дело. Здесь Каменский работал непрерывно: с 1920 г. — ассистентом, а с 1925 г. — доцентом. Затем в 1930 г. из Горной академии выделилось несколько вузов, в их числе и Московский геологоразведочный институт (МГРИ). Григорий Николаевич возглавил в нем кафедру гидрогеологии, сначала исполняющим обязанность профессора, а позднее, с 1940 г., после утверждения в докторской степени, — профессором.

С начала Великой Отечественной войны МГРИ считался оборонным объектом. Григорий Николаевич был рядовым пожарником и в периоды, когда немцы бомбили Москву, он вместе со студентами с крыши здания института сбрасывал зажигательные бомбы. В октябре 1941 г. Г. Н. Каменский в составе МГРИ эвакуировался в Семипалатинск, откуда вместе с институтом возвратился в Москву в 1943 г.

Вопросам подготовки специалистов Григорий Николаевич уделял особое внимание. Он тщательно работал над учебными планами и профилями специалистов-гидрогеологов и ясно видел перспективы развития гидрогеологии. В этом ему помогало и участие в Центральном учебно-методическом совете Союзгеолразведки (организованном вместо Геологического комитета). Каменский не только создал сам ряд превосходных учебников и учебных пособий, но в 30-х годах, когда наша отечественная учебная литература по гидрогеологии была невелика, он вместе со своим учителем профессором А. Н. Семихатовым осуществил научную редакцию переводов с немецкого языка известных руководств: Кене «Грунтовые воды» и Принца «Гидрогеология» (Первая книга была издана Стройиздатом в 1932 г., вторая — в 1933 г. Сельхозгизом). Оба издания сыграли значительную роль в развитии гидрогеологии и, в частности, изучении режима подземных вод.

Параллельно с педагогической работой Каменский выполнял производственные и научные исследования в Московском геологоразведочном управлении (1926—1932), во Всесоюзном научно-исследовательском институте водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии — ГИДРОТЕХГЕО (1931—1934), в Институте геологических наук АН СССР (1935—1939), во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии — ВСЕГИНГЕО (1939—1949), в Лаборатории гидрогеологических проблем (1949—1953). С 1953 г. до конца дней основной для Г. Н. Каменского стала работа в лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. Здесь хотелось бы подчеркнуть, что вопросами формирования подземных вод, являющимися сложнейшими в гидрогеологии, Каменский занимался почти всю свою творческую жизнь. Однако наиболее интересные результаты он получил в последние годы своей жизни, работая в лаборатории.

В хронологическом перечислении мест работы Г. Н. Каменского прослеживается тесная связь научной деятельности ученого с мероприятиями по преобразованию научных организаций, занимающихся вопросами гидрогеологии. Академия наук СССР была переведена из Ленинграда в Москву в 1934 г. Гидрогеологический отдел Геологического института АН СССР после переезда в Москву несколько расширили и преобразовали в Отдел гидрогеологии и инженерной геологии.

В 1935 г. руководителем этого отдела был назначен профессор Ф. П. Саваренский. В отделе организовали три лаборатории, одной из них — Лабораторией гидрогеологии — стал заведовать Г. Н. Каменский. Основная тема лаборатории — изучение динамики грунтового потока в неоднородных пластах. В 1938 г. на базе отдела в Геологическом институте (получившем с этого года в связи с реорганизацией наименование Института геологических наук — ИГН) возникли Сектор инженерной геологии (руководитель Ф. П. Саваренский) и Отдел гидрогеологии (руководитель Г. Н. Каменский).

Крупные объекты нового строительства в годы третьей пятилетки требовали создания в системе Комитета по делам геологии научно-исследовательского института по гидрогеологии и инженерной геологии. В 1939 г. был образован упоминаемый выше ВСЕГИНГЕО. Ввиду отсутствия научно-исследовательской базы в системе комитета

было принято решение о передаче Сектора инженерной геологии и Отдела гидрогеологии ИГН АН СССР в состав вновь организуемого института.

Постановлением Президиума АН СССР в Отделе геолого-географических наук в 1944 г. на базе Комиссии гидрогеологии и инженерной геологии была сформирована Лаборатория гидрогеологических проблем. Ее директором назначен Ф. П. Саваренский. В 1949 г. сюда поступил на работу по совместительству в качестве старшего научного сотрудника и заместителя директора по научной части Г. Н. Каменский. С 1953 г. он перешел на постоянную работу в лабораторию. Каменский оставался заместителем директора в течение семи лет. В 1956 г. ученый стал директором лаборатории, но в связи с тяжелым заболеванием в 1957 г. вынужден был оставить этот пост.

В годы работы в Московской горной академии и МГРИ им. С. Орджоникидзе

Преподавательскую деятельность Каменский удачно совмещал с научной. В его научной работе можно выделить несколько направлений. Одно из них посвящено преимущественно региональной геологии и гидрогеологии. Сюда относятся исследования в бассейне Среднего Дона, в Пензенской области, в районе Маныча и Ергенинской возвышенности, Сарпинской низменности, на общем Сырте, в Прикаспийской низменности и в зоне строительства Волго-Донского канала. В период этих исследований Г. Н. Каменский проводил геологические и гидрогеологические съемки в ряде районов Поволжья, Заволжья и Среднего Дона.

Из перечисленных работ наиболее значительными оказались выполненные по поручению Комиссии по изучению фосфоритов и гидрогеологической части Наркомзема исследования в районе Среднего Дона между Усть-Медведицкой и Трех-Островьянской [1]. Здесь Каменский получил данные, позволившие по-новому осветить геологическую структуру Донского купола, обнаружить восходящие источники артезианских вод на Арчединском поднятии, на основании этого сделать важный вывод о существовании Донец-

ко-Донского артезианского бассейна и дать его характеристику.

Древнейшие из распространенных на описываемой площади пород относятся к каменноугольным отложениям. Имеющиеся литературные сведения были очень ограничены и в области стратиграфии приводили к выводам, мало отвечающим действительности. По возрасту эти отложения большинством геологов относились к самым верхним горизонтам карбона, а некоторыми — к пермским отложениям. Исследования, выполненные Г. Н. Каменским, позволили создать более полную стратиграфическую схему карбона, юрских и третичных отложений, а также тектонического строения района.

Интересна и другая крупная работа ученого — геологические и гидрогеологические исследования в южной части Общего Сырта, проведенные в 1926—1927 гг. по поручению Геологического комитета [3; 4]. В связи с характером рельефа и малым развитием глубокого размыва в данной области отсутствуют естественные глубокие разрезы. Это очень осложняет изучение геологического строения территории, вынуждает проводить дополнительные разведочные работы и обращать особое внимание на самые различные, иногда косвенные признаки присутствия тех или иных пород. Несмотря на перечисленные трудности, Каменскому и здесь удалось получить оригинальные результаты. Он впервые установил соляную тектонику, выделил среди меловых отложений ряд ранее не известных в этом районе стратиграфических горизонтов (оксфорд, кимеридж, сантон, датский ярус) и открыл озинское месторождение горючих сланцев, которое разрабатывается и в настоящее время. Материалы Г. Н. Каменского послужили основанием для заложения глубокой буровой скважины, в результате было открыто месторождение калийных солей. Работы Григория Николаевича в южной части Общего Сырта, как неоднократно отмечали и геологи-нефтяники, представляют целый этап в изучении геологии обширных территорий Заволжья.

Изучая гидрогеологию Заволжья, ученый выделил несколько характерных районов: район палеоцена и древних мезозойских отложений Общего Сырта; район южной окраины Камеликской впадины, простирающейся к северу от первого района и характеризующийся присутствием акчагыла под сыртовыми толщами; район подобного же характера Деркульско-Чаганской впадины; поло-

су подножья южнее склона Общего Сырта и северную окраину Прикаспийской низкой степи.

Огромная практическая работа позволила Каменскому сделать глубокие теоретические обобщения. Результаты региональных гидрогеологических исследований на Дону, Общем Сырте он использовал для выработки принципов гидрогеологического районирования и научных основ исследования и разведки подземных вод. Данные этих исследований Каменский изложил в ряде печатных работ и, в частности, в книге: «Поиски и разведка подземных вод» [3, 4].

Ярким примером применения практического опыта и теоретического мышления ученого стали его исследования по Волго-Донскому каналу, к которым Г. Н. Каменский возвращался неоднократно. Они сыграли большую роль в изучении условий возведения и эксплуатации крупнейшего гидротехнического сооружения нашей эпохи.

В 30-х годах Г. Н. Каменский начал преподавать в Московском геологоразведочном институте курс «Гидрогеология СССР». Чтение этого курса потребовало от Григория Николаевича систематизации накопленного им большого фактического материала, который в дальнейшем был использован при составлении широко известного коллективного учебного руководства «Гидрогеология СССР», написанного в 1959 г. совместно с М. М. Толстихиной и Н. И. Толстихиным [63]. Эта работа была удостоена премии имени академика Ф. П. Саваренского.

Большое внимание ученый уделял вопросам методики гидрогеологических исследований. Еще в 1923 г. А. Н. Мазаровичем при участии В. А. Жукова, Е. В. Милановского и Ф. П. Саваренского была составлена инструкция к производству гидрогеологических работ и предварительной обработке материалов. Уже в следующем году Центральная гидрогеологическая станция решила расширить рамки инструкции, введя в нее и элементы камеральной обработки материалов. А. Н. Мазарович дополнил главу об обработке материалов, а Г. Н. Каменский разработал главу о пользовании капельницами для полевого химического анализа [2]. По методике Каменского при помощи капельниц можно было в полевых условиях проводить важные количественные и качественные определения растворяемых в воде веществ.

В 1931 г. состоялся Первый Всесоюзный гидрогеологический съезд в Ленинграде. На съезде Г. Н. Каменский

сделал пять докладов по различным вопросам региональной гидрогеологии и методики гидрогеологических исследований. Все доклады представляли существенный интерес и были опубликованы в трудах съезда.

В одном из них Г. Н. Каменский и Г. В. Богомолов рассказали о своем методе подсчета коэффициента фильтрации для случая асимметричной воронки депрессии при откачке подземных вод [7, 15]. Чтобы избежать в подсчетах ошибок, причиной которых может быть асимметрия депрессионной воронки, гидрогеологи предложили в таких условиях закладывать большее число наблюдательных скважин, расположенных по двум, трем или четырём лучам, так как расположение скважин по произвольно взятому одному направлению может повлиять на точность определения коэффициента фильтрации.

Другой доклад был посвящен опытно-лабораторному определению водопроницаемости горных пород. Здесь ученый рассмотрел методику лабораторных определений и предложил новые приборы, сконструированные им [13].

В следующем докладе Г. Н. Каменский впервые сформулировал и проанализировал вопрос о гидрогеологическом типе как основной единице гидрогеологического районирования [10]. Ученый доказал, что введение понятия «Гидрогеологический тип», складывающегося из определенного комплекса признаков и явлений, определяющих гидрогеологические условия данной местности, помогает развить новые методы гидрогеологических исследований — гидрогеологического районирования и изучения гидрогеологических бассейнов.

Доклад о картах водопроводимости и динамических запасов грунтовых вод в Пехорско-Купавинском районе близ г. Москвы подготовлен Г. Н. Каменским вместе с И. В. Гармоновым [11]. Подобные карты были составлены впервые в гидрогеологической практике. Они послужили основой для развития методики региональных исследований и картирования ресурсов подземных вод.

В докладе о профилях специалистов по гидрогеологии и инженерной геологии были подробно сформулированы требования к подготовке высококвалифицированных специалистов по этим специальностям. Изложенные Каменским требования в основном предъявляются и в настоящее время [9].

Наряду с работами по региональной геологии и гидро-

геологии, методике гидрогеологических исследований большое место в творчестве ученого занимают труды по динамике и режиму подземных вод. Необходимость этих исследований была обусловлена запросами гидротехнического строительства и требованиями повышения качества творческой подготовки специалистов гидрогеологов.

Крупное гидротехническое строительство, начатое в нашей стране сразу же после разгрома интервенции и окончания гражданской войны, вызывало бурное развитие в СССР соответствующих областей науки и, в частности, гидромеханики и ее основного раздела — теории фильтрации. Становлению этих наук в СССР на первом этапе, в начале 20-х годов, мы обязаны крупнейшим отечественным ученым Н. Е. Жуковскому, Н. Н. Павловскому и др. Первый этап характеризовался тем, что различные фильтрационные задачи решались учеными только для грунтовых вод в однородных пластах. Для дальнейшего развития теории фильтрации Каменский считал необходимым при решении фильтрационных задач учитывать тесную связь подземных вод с геологическим строением водоносных пластов земной коры. Он писал: «Отмеченная связь — в настоящее время мало еще отражена в учении о движении подземных вод: это учение в значительной мере представляет собой «гидравлику грунтовых вод», мало учитывающую природу геологических и гидрогеологических особенностей водоносных пластов, тесное взаимное проникновение факторов геологических, гидрогеологических и гидродинамических в изучение явлений динамики подземных вод является еще задачей ближайшего будущего» [17].

Работая в Горной академии и в МГРИ над программами по новым курсам гидрогеологической специальности, Г. Н. Каменский вносил в них то новое, что могло обогатить гидрогеологию и смежные с нею науки: почвоведение, гидравлику, мелиорацию, гидромеханику. Отличное знание этих наук помогло ученому разглядеть органическое слияние их на стыках. Закономерно, что новый раздел гидрогеологии — динамика подземных вод — возник на границе между гидрогеологией и гидродинамикой, и его основоположником стал Григорий Николаевич Каменский.

Работы Каменского по динамике и режиму подземных вод вызваны запросами практики в связи со строительством крупнейших гидротехнических сооружений. На ру-

беже 20-х и 30-х годов ученый выполнил многочисленные научные исследования по определению подпора грунтовых вод в районах водохранилищ, по методике изучения фильтрационных свойств, по теории движения подземных вод в неоднородных по проницаемости пластах при различных условиях их залегания, по разработке теории движения подземных вод к водозаборным сооружениям и т. п. Ряд этих и других работ были положены в основу составленного им впервые в СССР учебника «Основы динамики подземных вод», вышедшего в двух томах в 1933 и 1935 гг. и представляющего собой в значительной степени самостоятельные исследования автора [14, 17]. Учебник сыграл огромную роль в воспитании нескольких поколений гидрогеологов в нашей стране и за рубежом.

Разрабатывая основы динамики подземных вод, Каменский сделал вывод, что наиболее динамичными в отношении режима являются грунтовые воды, находящиеся в зоне непосредственного влияния атмосферных осадков. Учитывая практическое значение различных проявлений режима грунтовых вод и обобщая данные наблюдений, ученый выделил для грунтовых и неглубоких напорных вод два основных типа режима: водораздельный и прибрежный.

Первый тип характеризует режим грунтовых вод водораздельных пространств, удаленных от рек. Здесь создаются условия для основного влияния атмосферных осадков и испарения. Этот режим проявляется закономерными колебаниями уровня вод, различный характер которых зависит от климатических условий, геологического строения, глубины уровня грунтовых вод (мощности зоны аэрации), литологического состава водоносного слоя и покровных отложений.

Второй тип присущ грунтовым водам в долинах рек и прибрежных областях. Он образуется при наличии гидравлической связи с рекой или водоемом и характеризуется преобладающим влиянием колебания уровня воды в них. Для более четкого выявления этой связи Г. Н. Каменский выделил три случая для прибрежных районов: гидравлическая связь между грунтовой водой и рекой имеется; река лежит ниже грунтового потока, и гидравлическая связь отсутствует; зеркало грунтовых вод лежит ниже русла реки, и влияние реки на грунтовую воду может выразиться только инфильтрацией речной воды в дне русла, если породы под ним водопроницаемы. Из

всех случаев наиболее характерен первый, при котором режим грунтовых вод в прибрежной зоне создается под гидродинамическим влиянием колебаний уровня реки.

Колебания грунтовых вод, развивающиеся под влиянием реки, распространяются обычно на несколько сотен метров от ее берега. И лишь при больших амплитудах и длительных подъемах уровня паводковых вод крупных рек или водоемов (водохранилищ) влияние колебаний сказывается иногда на расстоянии в несколько километров. В работах Г. Н. Каменского дается математический анализ закономерностей подобных колебаний на основе уравнения неустановившегося движения грунтовых вод.

Вопросы динамики подземных вод изучались до середины 30-х годов преимущественно для случая установившегося движения, тогда как в природе преобладает неустановившееся (переменное во времени). В условиях крупного гидротехнического строительства изучение неустановившегося движения подземных вод приобретало особенно важное значение. Уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях, выведенное Каменским, по его замечанию, является также и выражением баланса грунтовых вод в пределах выделенного элемента потока. Это указывает на единство теоретической основы для трех ветвей науки о подземных водах: учения о движении, учения о режиме и учения о балансе грунтовых вод. Следовательно, уравнение вполне может служить основой для математического анализа режима и баланса грунтовых вод, связывая в одну зависимость изменения или колебания уровня грунтовых вод во времени с основными элементами грунтового потока (величина инфильтрации атмосферных осадков, водопроницаемость и мощность водоносного пласта, уклон или форма поверхности грунтовых вод и, наконец, состояние влажности грунта в зоне аэрации) [28, с. 53].

Метод конечных разностей, сыгравший и играющий большую роль в практике социалистического строительства, применяется для решения двух основных задач: для прогноза уровней грунтовых вод и для изучения их баланса, в частности определения их инфильтрационного питания. Здесь и в настоящее время проявляется ряд существенных преимуществ этого метода по сравнению с аналитическими. Он применялся В. М. Шестаковым для расчетов крупных водопонизительных и водозаборных

Г. Н. КАМЕНСКИЙ

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

ГОСГЕОИЗДАТ
1943

Обложка курса по разделу
гидрогеологии, созданному
Г. Н. Каменским

установок при неустановившейся фильтрации в сложных гидрогеологических условиях, для которых аналитические методы оказываются непримлемыми.

В 1940 г. Г. Н. Каменский защитил докторскую диссертацию на тему: «Метод конечных разностей для решения задач по движению грунтовых вод и прогнозу их режима». В этом же году ему было присвоено звание профессора.

Прошло почти десятилетие после первого выхода в свет учебника «Основы динамики подземных вод». Накопленный за это время опыт позволил в новом свете рассмотреть многие освещенные в учебнике вопросы. В 1943 г. вышло второе переработанное и дополненное издание курса [29]. В нем было новое описание теории неустановившегося движения грунто-

вых вод, взаимодействия водосбросов, движения подземных вод в неоднородных пластах и др.

Г. Н. Каменский много внимания уделял вопросам исследования и прогноза режима подземных вод. Он применил метод неустановившегося движения грунтовых вод для нахождения параметров водоносных пластов при наблюдении режима подземных вод, что дало возможность уточнить расчеты прогноза режима подземных вод при влиянии рек, водохранилищ, каналов. Для изучения динамических запасов подземных вод ученый предложил определять модуль подземного стока, исследуя грунтовое питание рек с помощью гидрометрических наблюдений. Этот метод успешно был развит учениками Григория Николаевича. Большую роль для оценки ресурсов подземных вод сыграла разработанная Каменским теория движения подземных вод в неоднородных пластах, работы

по инфильтрации воды в сухой грунт, подсчет коэффициента фильтрации по откачке для случая асимметричной воронки депрессии и др.

Итоги подобных исследований были приведены в капитальном труде «Режим подземных вод» [21], выполненном Г. Н. Каменским совместно с Н. Н. Биндеманом, В. А. Вевировской и М. Е. Альтовским. В этой работе намечены пути дальнейшего изучения режима подземных вод на основе теории неустановившегося движения.

Такие исследования имели огромное практическое значение. «Изучение явлений, которые в совокупности составляют предмет учения о режиме подземных вод,— писал Г. Н. Каменский, связано с решением ряда конкретных задач, получивших в последнее время новое развитие в связи с осуществлением директив XIX съезда КПСС» [52, с. 4]. К конкретным задачам, например, относится изучение режима ближайших к поверхности горизонтов грунтовых вод на участках проектируемых оросительных систем, гидротехнических сооружений, водохранилищ и прудов, выявление взаимовлияния грунтовых вод и леса в связи с созданием лесных полезащитных полос.

Для разрешения перечисленных задач уже недостаточно найти то или иное объяснение влияния различных факторов на режим грунтовых вод, чем часто ограничивались прежние исследователи. Стали необходимы определение количественного выражения факторов, формирующих режим грунтовых вод (инфильтрация атмосферных осадков, подземный сток, испарение и т. д.), и выявление прогноза возможных изменений режима грунтовых вод под влиянием совокупности действующих факторов как естественных, так и искусственных (подпор грунтовых вод, орошение и т. д.).

Актуальное значение имели и имеют предложенные Каменским гидродинамические принципы исследования режима притока подземных вод в горные выработки для оценки этого притока при проходке выработок и при их эксплуатации. В частности, значительные изменения водопритоков в горные выработки наблюдаются при их затоплении и осушении. С необходимостью исследований подобных явлений пришлось столкнуться при восстановлении шахт Донецкого бассейна и других районов, находившихся во временной немецкой оккупации. Метод, основанный на гидродинамических принципах, вскрывает

сущность процесса притока подземных вод в горные выработки в условиях их затопления или осушения, дает возможность уточнить гидрогеологические расчеты и способствует развитию научной обработки материалов наблюдений указанных процессов.

С гидродинамической точки зрения, как отмечал Г. Н. Каменский, затопление шахт и последующее осушение их представляет собой характерное выражение неустановившегося или изменяющегося во времени движения подземных вод, так как непрерывно изменяются уровень воды в шахтах и в окружающих водопроницаемых породах, количество воды в горных выработках и в окружающих породах, а также приток подземных вод в выработки. Такой режим в шахтах при их затоплении или осушении существенно отличается от режима при нормальной эксплуатации шахт, когда движение подземных вод, притекающих в горные выработки, приближается к установившемуся состоянию. В связи с вышесказанным ученый предложил рассматривать режим шахтных вод при затоплении и осушении, применяя разработанный им в 1940—1944 гг. метод конечных разностей для исследования неустановившегося движения грунтовых вод.

Результаты выполненных региональных гидрогеологических исследований, а также теоретические работы по динамике и режиму подземных вод были использованы Г. Н. Каменским для выработки принципов гидрогеологического районирования и научных основ исследования и разведки подземных вод. Данные указанных исследований изложены в ряде изданных им работ, в частности в книге «Поиски и разведка подземных вод» [34], являющейся крупным этапом в истории отечественной гидрогеологии. Здесь ученый наметил типы водовмещающих структур в зависимости от форм залегания водоносных пород и геологических структур.

Выделению подобных типов Каменский придавал большое значение и считал, что оно должно составить задачу региональной гидрогеологии и послужить основой гидрогеологического районирования. Каменский отметил, что приведенный список не исчерпывает всего разнообразия вмещающих воду структур и приуроченных к ним типов подземных вод.

В книге «Поиски и разведка подземных вод» приведены ценные материалы по вопросам разведки подземных

вод для водоснабжения, при гидротехническом строительстве, для осушения, орошения и т. п. Автор особо подчеркивал, что знание генезиса подземных вод для прикладных целей, в частности для поиска и разведки подземных вод, так же необходимо, как и для теоретических исследований.

Как уже отмечалось, до 30-х годов теория фильтрации рассматривала движение потока лишь в однородных грунтах, но особенности гидрогеологического строения водоносных горизонтов требовали учета неоднородности водосодержащей толщи. Для решения этого вопроса Г. Н. Каменский выполнил большую работу, результаты которой были опубликованы в статьях [19, 20] и в монографии «Движение подземных вод в неоднородных пластах» [16].

С целью учета неоднородности водосодержащих горизонтов, ученый ввел понятие о средневзвешенном или эффективном коэффициенте фильтрации пласта, с помощью которого определялась водопроводимость неоднородной толщи. Сделав вывод, что вычисление среднего коэффициента фильтрации как среднеарифметического необоснованно и во многих случаях неверно, Каменский предложил в уравнениях водопроводимости неоднородных толщ использовать средний коэффициент фильтрации пласта при движении параллельно слою; средний коэффициент фильтрации пласта при движении перпендикулярно пластам; средний коэффициент фильтрации пласта при движении подземных вод под углом.

Г. Н. Каменский составил также уравнения для движения подземных вод в слоистых пластах с горизонтальным водоупорным ложем, в пластах с резко меняющейся водопроводимостью по пути движения подземных вод,

Г Н КАМЕНСКИЙ

ПО ИСКИ
РАЗВЕДКА
ПОДЗЕМНЫХ
ВОД,

ГОСГЕОЛИЗДАТ
1 0 6 7

Обложка первого фундаментального труда по поискам и разведке подземных вод

Ученый разработал методику нахождения коэффициента фильтрации пласта по лабораторным исследованиям пород, вывел зависимость водопроницаемости от направления движения воды по отношению к напластованию пород. Для определения коэффициента фильтрации им предложен ряд приборов, в том числе полевой прибор, получивший название «Трубки Каменского» [2, 8, 13].

В 1950 г. Каменский вывел уравнение в конечных разностях для двухмерного в плане потока, рассмотрев как установившееся, так и неустановившееся движение (54, 61). Уравнение было широко использовано учениками ученого при выполнении ряда исследований прогноза подпора грунтовых вод при гидротехническом строительстве, мелиорации и для изучения естественного режима грунтовых вод в засушливых районах Прикаспийской низменности. С помощью уравнения были изучены закономерности испарения, инфильтрации подземного стока, влияние микрорельефа и лиманов на режим грунтовых вод. Исследования показали, что полученные уравнения являются гидродинамической основой при изучении гидрохимического режима грунтовых вод и позволяют количественно охарактеризовать процессы формирования их химического состава.

Анализ уравнений водного и солевого балансов применительно к территории Прикаспийской низменности Каменский использовал для выявления типов гидрохимического режима и для составления карты прогноза гидрохимического режима грунтовых вод северной части Прикаспийской низменности.

В 1953 г. вышла из печати работа Г. Н. Каменского «Гидрогеология месторождений полезных ископаемых», написанная совместно с П. П. Климентовым и А. М. Овчинниковым [51]. В этой работе освещены важнейшие вопросы гидрогеологии месторождений полезных ископаемых и содержится разнообразный материал теоретического, методического и практического характера. В ней приводятся сведения о водоносности геологических структур, к которым приурочены различные типы месторождений полезных ископаемых, данные о химическом составе подземных вод месторождений, результаты наблюдений за притоком воды в горные выработки и связанными с ним геологическими явлениями; обобщается опыт борьбы с рудничными водами; раскрываются вопросы методики гидрогеологического исследования месторож-

дений гидрогеологической службы на рудниках; излагаются принципы применения гидрогеологических критериев при поисках и разведке полезных ископаемых и т. д.

Научные заслуги Г. Н. Каменского определили его избрание в 1953 г. членом-корреспондентом Академии наук СССР. В это же время Григорий Николаевич перешел на основную работу в Лабораторию гидрогеологических проблем АН СССР, и в его научной деятельности начался новый период.

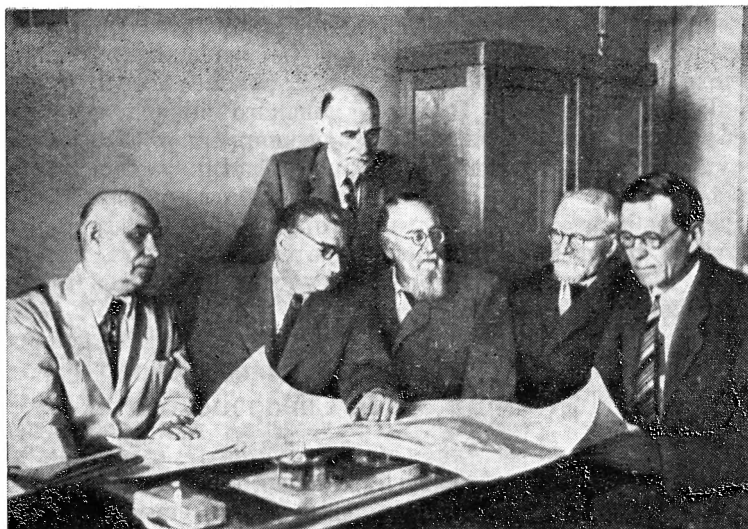
В Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР им. Ф. П. Саваренского

Основная научно-исследовательская проблема лаборатории — формирование подземных вод, и работы Г. Н. Каменского в этот период характеризуются именно такой направленностью.

В первые годы существования лаборатории в ней числилось лишь несколько человек. Для увеличения ее состава Саваренский привлек к работе докторантов и аспирантов. Так, в 1944 г. под руководством Саваренского в лаборатории работало уже четыре докторанта и два аспиранта. В связи с дополнительными заданиями, получаемыми лабораторией, ее штаты постепенно пополнялись. В октябре 1946 г. Ф. П. Саваренский скончался. Президиум АН СССР в увековечение памяти ученого установил премию Ф. П. Саваренского за лучшую работу в области гидрогеологии и инженерной геологии, а Лаборатории гидрогеологических проблем было присвоено его имя.

Директором лаборатории стал член-корреспондент АН СССР Н. Н. Славянов.

В конце 40-х годов в лаборатории работали уже такие крупные и широко известные ученые гидрогеологи и инженеры геологи, как Г. Н. Каменский, В. А. Приклонский, И. В. Попов, О. К. Ланге, Н. Н. Славянов, А. И. Силин-Бекчурин. После смерти академика Ф. П. Саваренского, который впервые включил в тематику лаборатории проблему формирования подземных вод, очень много, с большим интересом и плодотворно этими вопросами занимался Каменский. Он опубликовал ряд оригинальных



Ведущие сотрудники Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, май 1951 г. Слева направо: Г. Н. Каменский, В. А. Приклонский, И. В. Попов, О. К. Ланге, Н. Н. Славянов, А. И. Силин-Бекчурин

и обобщающих работ, явившихся ценным вкладом в изучение формирования подземных вод [52, 57, 60, 64].

Еще в 1949 г. в статье, помещенной в трудах Лаборатории гидрогеологических проблем, Г. Н. Каменский и его соавторы А. И. Силин-Бекчурин и Д. В. Соколов сформулировали основные положения крупнейшей проблемы гидрогеологии: «Учение о формировании подземных вод есть новое, выдающееся достижение советской гидрогеологической науки, выдвинутое Ф. П. Саваренским и разрабатываемое Лабораторией гидрогеологических проблем. Оно мыслится как учение комплекса различных гидрогеологических и других естественноисторических факторов применительно к особенностям тех или иных территорий. Это учение дает основу для новой, более глубокой постановки проблемы нашей советской гидрогеологии и для превращения ее из совокупности описательных знаний в единую и обобщенную, сложную науку с развитой теоретической базой» [41, с. 81].

В том же году в трудах лаборатории Каменский опубликовал статью «Зональность грунтовых вод и почвенно-

географические зоны» [39]. Основываясь на работах, выполненных ранее, ученый сделал вывод, что решение рассматриваемого вопроса не должно заключаться в выделении зон грунтовых вод в границах почвенных или ландшафтно-географических зон. Необходимо устанавливать для таких вод самостоятельные географические зоны, в определение которых вкладывать гидрогеологическое содержание, прежде всего основанное на представлениях о формировании грунтовых вод, подобно тому как почвенные зоны выделяются по типам почвообразования или по генетическим типам почв.

«Представление о типах формирования грунтовых вод,— писал Г. Н. Каменский,— может быть выведено из понятия о генетических циклах. Под этим понятием мы разумеем совокупность генетических процессов и их последовательность, отражающую геологическую историю местности и современную физико-географическую обстановку, в которой происходит формирование подземных вод... Для грунтовых вод, образование которых связано преимущественно с инфильтрацией атмосферных и поверхностных вод, может быть намечено два ряда генетических типов вод: 1) грунтовые воды выщелачивания и 2) грунтовые воды континентального засоления» [39, с. 5].

Первому ряду генетических типов вод соответствует первая зона, занимающая обширные пространства равнин большей части европейской территории СССР, а также равнины с областями распространения вечной мерзлоты и горные районы. Вторая зона, соответствующая генетическим типам грунтовых вод континентального засоления, занимает в европейской части СССР преимущественно юго-восточные области, а в азиатской — и площади сухих степей южных районов Западно-Сибирской низменности и пустынь Средней Азии.

Каменский подчеркнул, что формирование грунтовых вод выщелачивания происходит в условиях развития нисходящей фильтрации и подземного стока, который в расходной части баланса грунтовых вод преобладает над испарением. Такие условия характерны для областей избыточного увлажнения, но встречаются и при недостаточном увлажнении в местах, благоприятных для инфильтрации и при наличии хорошего дренажа. При интенсивной инфильтрации атмосферных осадков формирование химического состава грунтовых вод протекает под влиянием процессов выщелачивания почв и горных пород, что

и определяет наименование образующихся при этом грунтовых вод.

На равнинных пространствах сухих степей полупустынь и пустынь малое количество атмосферных осадков, интенсивное испарение и отсутствие естественного дренажа создают неблагоприятные условия для развития подземного стока, и в расходной части баланса грунтовых вод преобладает испарение. В условиях интенсивного испарения и отсутствия естественного дренажа формирование химического состава грунтовых вод происходит в связи с процессами континентального засоления. В этих областях обычно наблюдается очень пестрая минерализация грунтовых вод, связанная с различиями их формирования в зависимости от форм рельефа поверхности и состава пород и почв. Здесь присутствует сложный комплекс вод различной минерализации от соленых до пресных. Влияние геоморфологических условий и зависимость от состава пород в зоне континентального засоления сказываются более резко, чем в зоне выщелачивания.

Генетический тип подземных вод обуславливается конкретными проявлениями того или иного генетического цикла в определенной геологической обстановке. Еще в 1947 г. в работе «Поиски и разведка подземных вод» [34] Каменский выделил генетические циклы в гидрогеологии, включающие комплексы генетических процессов как геохимических, так и гидродинамических.

Применяя терминологию А. Е. Ферсмана, ученый наметил основные генетические циклы: 1) инфильтрационный, или континентальный, связанный с инфильтрацией атмосферных вод, с комплексом геохимических процессов, идущих в верхней зоне земной коры под влиянием участия атмосферных факторов: выветривания, почвообразования, жизнедеятельности организмов; 2) морской, или осадочный, связанный с проникновением морских вод в процессе осадкообразования, с диагнезом осадков и метаморфизацией заключенных в них пород; 3) метаморфический и магматический циклы, которые включают процессы формирования глубинных вод, связанные с термальным, динамическим и региональным метаморфизмом и магматическими процессами; относящиеся к этим циклам воды глубинного генезиса (глубинные гидротермы) заключают в себе ювенильные воды и так называемые «восстановленные», т. е. возродившиеся из горных пород под влиянием процессов метаморфизма.

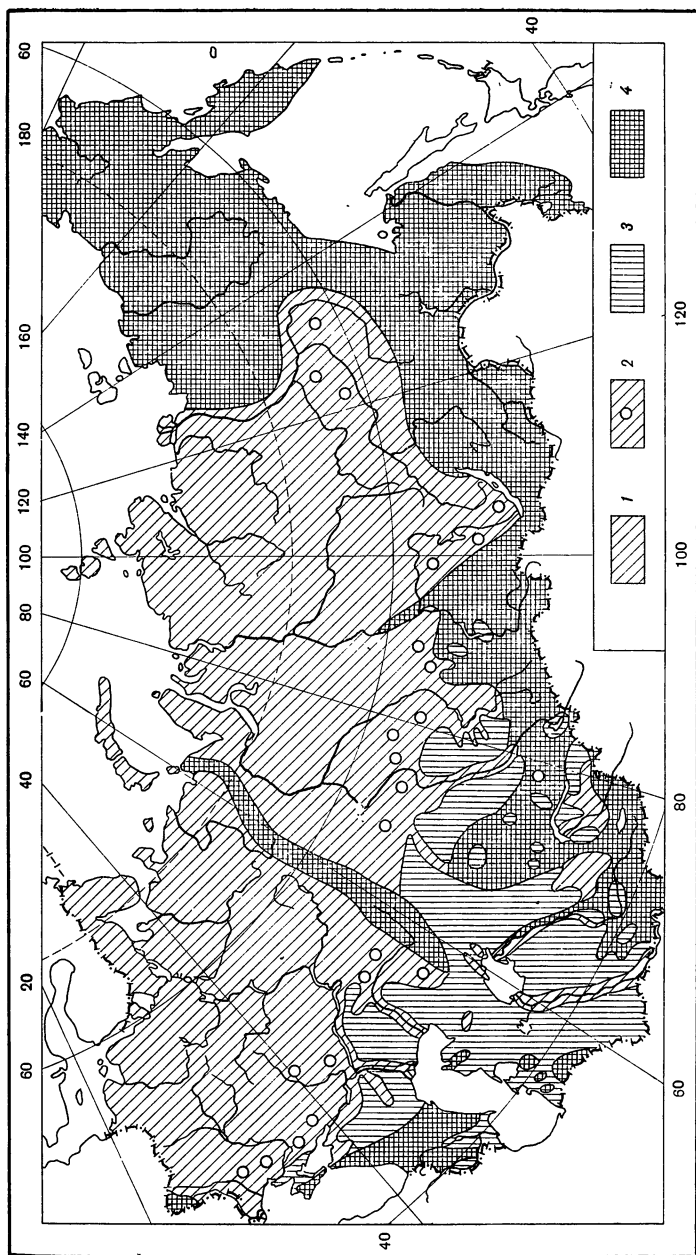


Рис. 1. Карта-схема зональности грунтовых вод СССР:

1 — грунтовые воды выпечаливания; 2 — грунтовые воды выпечаливания с интразональными участками вод континентального засоления; 3 — грунтовые воды континентального засоления; 4 — грунтовые воды выпечаливания горных районов

Итак, в зависимости от направления генетических процессов, развивающихся в различных геологических и физико-географических условиях, Каменский выделил основные генетические типы вод [39]: 1) грунтовые воды выщелачивания, формирующиеся в условиях достаточно интенсивного развития процессов инфильтрации атмосферных вод, т. е. в условиях достаточно влажного климата, где воды выщелачивания имеют сплошное распространение, или в зоне сухого климата на участках, благоприятных для инфильтрации и подземного стока; 2) грунтовые воды континентального засоления, формирующиеся в засушливых степных и пустынных равнинах под влиянием интенсивного испарения и процессов взаимодействия с засоленными почвами; 3) артезианские воды выщелачивания или воды глубокой циркуляции, подразделяющиеся на два подтипа: а) воды артезианских бассейнов в широких впадинах платформ, характеризующиеся малыми скоростями и длительными путями циркуляции, обусловленными значительной протяженностью бассейнов и относительно небольшими превышениями областей питания над областями стока; б) воды глубоких циркуляций (артезианские и трещинные) тектонических структур горноскладчатых областей, характеризующиеся относительно интенсивной циркуляцией и сопровождающиеся иногда выходом восходящих термальных источников.

В пределах каждого типа имеются характерные виды химического состава вод, образование которых зависит от состава пород и от характера геохимических процессов. Последовательность этапов формирования подземных вод обуславливается различными источниками их образования.

Вопросам гидрохимической зональности Г. Н. Каменский уделял большое внимание, глубоко и тщательно изучая и анализируя их. Результатами таких исследований стали составленные ученым и представляющие значительный научный интерес карта грунтовых вод СССР, на которой были выделены рассмотренные выше зоны выщелачивания и континентального засоления (рис. 1), и карта гидрогеологического районирования артезианских вод с учетом геотектоники.

Лаборатория гидрогеологических проблем в течение ряда лет с момента ее возникновения вела научно-исследовательскую работу в основном в рамках одной пробле-

мы — формирование подземных вод. Но в 1950 г., после опубликования правительством постановлений о великих стройках коммунизма, положение изменилось: тематика лаборатории получила новое развитие. Вместе с другими институтами Академии наук Лаборатория гидрогеологических проблем активно включилась в решение научных задач, выдвинутых великими стройками. Эти темы заняли значительную часть общего объема научно-исследовательских работ лаборатории.

Среди новых проблем, вставших перед гидрогеологией и инженерной геологией, следует отметить разработку гидрогеологических и инженерно-геологических проектов для таких объектов, как Куйбышевский гидроузел, Туркменский канал, оросительные системы Прикаспийской низменности, Сталинградская (Волгоградская) и Куйбышевская ГЭС. В связи с этим в лаборатории разрабатывались научные основы прогнозов гидрохимического режима районов строительства, развития физико-геологических явлений в зоне подпора гидроэлектростанций, изменения физико-механических свойств горных пород и их прочности под воздействием инженерных сооружений. Круг научных задач Лаборатории гидрогеологических проблем непрерывно расширялся благодаря новым растущим запросам практики. Так, проводились работы по изучению подземных вод района Северо-уральских бокситовых рудников для защиты рудников от обводнения, по изучению инженерно-геологических условий Курской магнитной аномалии и др. Значительная часть перечисленных работ выполнялась под непосредственным руководством Г. Н. Каменского или при его консультации.

Научные проблемы, разрабатываемые лабораторией и прежде, приобрели новое содержание, развиваясь на основе принципов единства теории и практики. Проблема формирования подземных вод, по-прежнему остававшаяся в центре внимания сотрудников лаборатории, обогатилась дополнительным материалом (гидрогеология сухих степей, полупустынь и пустынь, в частности Прикаспийской низменности), что должно было привести к появлению новых обобщающих трудов по вопросам формирования подземных вод в условиях континентального засоления.

Под руководством Г. Н. Каменского и при его непосредственном участии в Лаборатории гидрогеологических проблем были выполнены и опубликованы в ее трудах

фундаментальные работы: «Гидродинамические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов» [66], составленная на основе метода конечных разностей Г. Н. Каменского, и «Грунтовые воды Прикаспийской низменности и их режим в пределах Волго-Уральского междуречья» [67].

Проблемы, подобные перечисленным и близким к ним, разрабатывались республиканскими академиями наук, филиалами АН СССР и многочисленными исследовательскими организациями различных ведомств. В связи с этим возникла необходимость координации научно-исследовательских работ по гидрогеологии и инженерной геологии, что наметило дополнительные функции Лаборатории гидрогеологических проблем как научного центра в АН СССР по названным наукам. Отвечая новым растущим запросам к АН СССР по гидрогеологии и инженерной геологии, Президиум Академии наук предпринял ряд мер к расширению работ Лаборатории гидрогеологических проблем и укреплению ее научного аппарата.

Председателем Координационной комиссии Президиум Академии наук назначил Григория Николаевича Каменского.

Принимая активное участие в разработке вновь возникших задач, ученый продолжал заниматься вопросами формирования подземных вод.

В Москве 18—23 апреля 1955 г. состоялось совещание по вопросам формирования подземных вод. Оно было организовано Лабораторией гидрогеологических проблем при участии геологического факультета Московского университета и Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии Министерства геологии СССР. Главная задача совещания заключалась в подведении итогов разработки проблемы формирования подземных вод и в определении дальнейших путей ее развития. Основным на этом совещании был доклад Г. Н. Каменского: «Вопросы формирования подземных вод» [63]. Ученый доказал, что формирование подземных вод составляет одну из важнейших проблем гидрогеологии, в которой обобщаются современные представления о происхождении подземных вод, их химизме, о факторах накопления и распространения их ресурсов. Научное содержание проблемы сводилось к синтезу различных знаний о подземных водах: геолого-исторических, гидрогеологических и гидродинамических.

Итоги проведенного совещания дали возможность Каменскому составить детальную программу новой темы Лаборатории по изучению формирования подземных вод на основе выполненных региональных гидрогеологических исследований. Ученый считал, что первостепенная цель этой темы — развернуть содержание современных представлений о формировании подземных вод на примере конкретных артезианских бассейнов центральной и восточной частей Русской платформы.

Артезианские бассейны указанной территории по разнообразию своего строения, геологической истории и современной картине геоструктурных, гидрохимических и гидродинамических условий являются весьма благодарным материалом для освещения многих теоретических вопросов формирования подземных вод. Исследовательские работы по артезианским водам Русской платформы, опубликованные в печати, а также большое число неопубликованных накопили к середине 50-х годов значительный объем фактических данных, позволивших различно трактовать научные вопросы формирования артезианских вод. В результате бурения структурных скважин появились новые данные о глубоких водоносных горизонтах, значительно меняющие представления о строении глубоких частей артезианских бассейнов и их водах. Большой объем материалов по артезианским водам поступал из районов Заволжья и Приуралья, где проводилось бурение сотен скважин на участках вновь осваиваемых целинных земель.

Отмеченное обилие гидрогеологических материалов по Русской платформе и наличие крупных обобщающих работ могли показаться достаточными для удовлетворения запросов народного хозяйства, а настоящая тема могла выглядеть не столь актуальной, чтобы ее ставить на разработку в Лаборатории гидрогеологических проблем. В действительности дело обстояло не так. Несмотря на значительный общий объем фактических данных по артезианским водам центральных и восточных частей Русской платформы, эта территория освещена в гидрогеологическом отношении очень неравномерно. Некоторые ее районы оставались мало изученными, и вопросы о распределении ресурсов подземных вод решались в этих районах в порядке гидрогеологических прогнозов. Даже для относительно подробно изученных районов с многолетним опытом использования артезианских вод возникли задачи,

требующие глубокого исследования формирования подземных вод. В качестве примера Г. Н. Каменский приводил Москву, где проблема ресурсов артезианских вод приобрела весьма актуальное значение в связи с развитием использования этих вод и влиянием на их режим мощных откачек при строительстве метрополитена.

Каменский отмечал, что теоретические вопросы формирования подземных вод артезианских бассейнов трактовались весьма разноречиво и в большинстве случаев односторонне. Это не могло составить научную основу для установления закономерностей распределения ресурсов подземных вод на рассматриваемой территории для полноценного обслуживания запросов народного хозяйства в отношении использования подземных вод или управления их режимом при различных видах строительства и разработке месторождений полезных ископаемых.

Состояние проблемы формирования подземных вод в том виде, как оно было освещено на совещании, проведенном в 1955 г. лабораторией, МГУ и ВСЕГИНГЕО, позволяло наметить решение основной научной задачи данной темы путем разностороннего комплексного исследования процессов, ведущих к формированию и региональному распределению различных типов артезианских вод, а также геохимических и гидродинамических процессов и их исторической последовательности, отражающих геологическую историю структур, которые образуют артезианские бассейны.

Каменский подчеркивал сложность выдвигаемой им темы и необходимость выделения в ней ряда разделов, освещающих различные стороны ее задач. В первую очередь должна быть осуществлена разработка теоретических предпосылок к изучению комплекса процессов, к выяснению основных этапов истории артезианских бассейнов. Этот вопрос был предварительно исследован и оформлен в виде доклада Каменского на совещании. Следующий этап решения задачи — изучение отдельных артезианских бассейнов с проработкой вопросов их истории и закономерностей зонального распределения вод. Материалом для изучения стали работы по гидрогеологии Русской платформы, выполненные в Лаборатории гидрогеологических проблем и в других организациях. Эти работы должны послужить региональной основой для установления закономерностей формирования и геохимической зональ-

ности артезианских вод с целью выделения типов артезианских бассейнов на Русской платформе.

Исследование химического состава подземных вод и пород составляет важнейшую часть гидрогеологического изучения артезианских бассейнов. Материал гидрогеохимического исследования нужен для выяснения процессов формирования подземных вод. В экспериментальных исследованиях Каменский предполагал использовать материалы, получающиеся при бурении глубоких структурных скважин; проводить выборочные анализы вод с определением микроэлементов, газового состава, изотопного состава, абсолютного возраста вод; параллельно с гидрохимическими исследованиями осуществлять исследования пород с определением их минерального состава, содержания растворимых солей и формы их нахождения в породах, а также поглощенных катионов. Подобные исследования ученый предлагал организовать в комплексе с литологическими, ведущимися под руководством академика Н. М. Страхова в Отделе литологии Института геологических наук.

Одну из задач темы составляет изучение динамики артезианских вод на основе исследования характерных артезианских бассейнов и наблюдаемых в них течений подземных вод, и прежде всего в виде анализа гидродинамических схем для различных бассейнов. В дальнейшем намечалось исследовать другие мало известные формы движения вод в толщах пород.

Анализ гидродинамических схем поможет выяснить роль гидродинамических процессов и сочетания их с гидрогеохимическими процессами в формировании подземных вод. Непосредственным практическим результатом такого исследования должно быть выяснение направления течения артезианских вод, обусловленного соотношением областей питания и разгрузки, и затем и направления потоков пресных вод и закономерностей их распределения в артезианском бассейне, что составит одну из основ прогноза распределения ресурсов пресных артезианских вод.

Как следует из сказанного выше, методика разработки темы представляла собой комплекс региональных гидрогеологических и экспериментальных гидрогеохимических исследований в сочетании с литологическими, а также теоретических разработок вопросов динамики вод артезианских бассейнов, с постановкой лабораторных экспери-

ментов. Подобные комплексные исследования и эксперименты Каменский предполагал проводить в какой-либо лаборатории Москвы (например, в МГРИ, МГУ), так как в Лаборатории гидрогеологических проблем не было экспериментальной лаборатории динамики подземных вод.

Тема, имеющая большое научное и практическое значение, была включена в план работы лаборатории и принята к выполнению. Однако в связи с болезнью и смертью Г. Н. Каменского закончить тему в полной мере, такой, как она сформулирована ученым, не представилось возможным. В настоящее время отдельные ее фрагменты выполнены различными организациями.

Григорий Николаевич Каменский был ученым-новатором, умевшим найти новые, оригинальные решения самых сложных гидрогеологических проблем. Его многочисленные научные работы были результатом тесной связи науки и практики и находили блестящее применение при решении огромного круга вопросов социалистического строительства в СССР.

Большое внимание уделял Г. Н. Каменский подготовке научных кадров. Его ученики составляют сейчас большую группу инженеров, кандидатов и докторов наук, работающих в различных областях гидрогеологии и развивающих идеи Григория Николаевича. Многие годы он был членом Высшей аттестационной комиссии, членом ряда ученых советов, редактором многочисленных научных изданий, научным руководителем большого числа аспирантов, оппонентом по докторским и кандидатским диссертациям и пр. За научную и научно-производственную деятельность он был награжден орденами и медалями СССР.

Г. Н. Каменский руководил в АН СССР работой по научным международным связям в области гидрогеологии, состоял вице-президентом Международной ассоциации гидрогеологов и председателем Советской гидрогеологической секции при Национальном комитете геологов СССР.

Ученый выполнял одновременно и большую общественную работу, его избирали депутатом Московского городского Совета 1-го созыва и депутатом Краснопресненского районного Совета 3-го созыва.

Григорий Николаевич был человеком большой культуры, тонким ценителем музыки, хорошим товарищем. И где бы он ни работал, чем бы ни занимался, он всегда оставался принципиальным, строгим к себе, скромным, отзывчивым и обаятельным.

Часть вторая

Пути научного творчества

Учение о динамике подземных вод

Основные работы по динамике подземных вод были выполнены Григорием Николаевичем Каменским в 30-е годы, в годы первых пятилеток. В это время главное внимание обращалось на исследования, связанные с гидротехническим строительством (канал Волга—Москва, водохранилища на Волге) и использованием подземных вод для водоснабжения.

В 40-е и 50-е годы работы в области динамики подземных вод получили дальнейшее развитие в свете новых задач социалистического строительства в послевоенные годы. Для скорейшего восстановления затопленных шахт Донбасса изучались закономерности водопритоков в горные выработки. Освещались вопросы гидрохимического режима в связи с мелиорацией земель. Исследовалось развитие подпора в районах водохранилищ. Обобщались данные по поискам и разведке подземных вод, по гидрогеологии СССР.

Результаты исследований по динамике подземных вод, их режиму, балансу и ресурсам вошли в написанные Г. Н. Каменским учебники, методические руководства, инструкции. В своих трудах ученый опирался на работы А. Дарси, Ж. Дюпюи, Ж. Буссинеска, Н. Г. Жуковского, Ф. Форхгеймера, Н. Н. Павловского и др., развивая их и обогащая новыми разработками и выводами. В теории движения подземных вод Каменский выдвинул основной принцип [17], который дал новое направление в исследованиях динамики грунтовых и напорных вод. Оно возникло из представления о динамике подземных вод как отрасли гидрогеологии, посвященной изучению их движения. В силу этого уже нельзя было рассматривать движение подземных вод, отвлекаясь от конкретных особенностей геологического строения водоносных пластов и режима подземных вод.

Ученый выделял две задачи динамики подземных вод. Первая считалась им основной и заключалась в изучении естественных процессов движения воды в пластах земной коры, в исследовании движения воды в насыщенных ею водоносных пластах и в ненасыщенных породах (плечное, капиллярное движение, инфильтрация). Ученый полагал, что при этом должны учитываться режим изменения уровней подземных вод и направление их движения. Вторая задача — изучение в движении подземных вод явлений, вызванных искусственными причинами. Например, движение воды к грунтовым и артезианским колодцам, к другим каптажным сооружениям, движение подземных вод под гидротехническими сооружениями. При выполнении названных задач динамика подземных вод исследует влияние на их движение геологического строения (состава и условий залегания) водоносных слоев и режима подземных вод.

Каменский отмечал, что при исследовании динамики подземных вод необходимо наиболее полно отражать процессы движения воды в пластах земной коры и особенности геологического строения водоносных пластов и режима подземных вод. Значительная роль в динамике подземных вод принадлежит их движению в неоднородных по водопроницаемости пластах. Этому вопросу Каменский уделял большое внимание в своих исследованиях, результаты которых явились огромным вкладом в теорию установившегося движения подземных вод в неоднородных водоносных пластах.

Важное значение, по мнению ученого, имеет и теория неустановившегося движения вод как в неоднородных, так и в однородных водоносных пластах. Она помогает определить реальную обстановку динамики вод как процесса в водоносных пластах. Метод конечных разностей, примененный Каменским впервые в конце 30-х годов для изучения режима и баланса грунтовых вод и определения гидрогеологических параметров, как раз и отражал стремление ученого наиболее объективно осветить процессы динамики подземных вод в водоносных слоях.

В своих работах, посвященных динамике подземных вод, Каменский опирался на гидравлическую теорию их движения, которая явилась основой для решения многих практических задач (по притоку грунтовых вод к колодцу, по их подпору, по изучению их баланса и пр.). Ее главные положения, как уже говорилось, широко приме-

нены в работах Ж. Дюпюи, Ж. Буссинеска, Ф. Форхгеймера, Н. Н. Павловского и других исследователей, занимавшихся вопросами движения грунтовых вод до Г. Н. Каменского. Позже эта теория использовалась в работах П. Я. Полубариновой-Кочиной, Н. К. Гириного, А. Н. Мятлева и др.

Основной принцип гидравлической теории движения грунтовых вод впервые был применен в исследованиях Дюпюи, который, основываясь на законе Дарси (1856 г.), решил задачи по движению грунтовых вод в однородных слоях и их притоку к колодцам. Выведенные им формулы, отличающиеся своей простотой, получили широчайшее применение и не потеряли своего значения до настоящего времени. Принцип, использованный Дюпюи, заключался в следующем: скорость фильтрации в вертикальных сечениях потока принималась постоянной и изменялась лишь при переходе от сечения к сечению. Академик Н. Н. Павловский назвал это допущение гидравлическим приемом Дюпюи, позже он получил название предпосылки Дюпюи и широко применялся исследователями.

Гидравлическая теория движения грунтовых вод в трудах Каменского получила дальнейшее развитие, поскольку он распространил ее положения на неоднородные водоносные слои. Так, предпосылку Дюпюи, применявшуюся ранее лишь для однородных водоносных толщ, Каменский использовал и для неоднородных, в частности слоистых. В этом случае более общую формулировку получает и сама предпосылка. Если при рассмотрении однородных водоносных пластов допускается постоянство скоростей в вертикальных сечениях, то для неоднородных предполагается постоянство напорных градиентов в вертикальных сечениях. Этот принцип действителен и для предпосылки Дюпюи, но при рассмотрении однородных слоев он четко не выделялся и использовался лишь в частном виде как постоянство скоростей в вертикальных сечениях.

Такой прием в общем виде фактически можно назвать предпосылкой или гидравлическим приемом Каменского, поскольку ученый широко применял его при исследованиях по динамике подземных вод в неоднородных пластах. Прием был, в частности, использован Каменским при рассмотрении движения подземных вод в сложных по неоднородности толщах и при выводе общеизвестного

уравнения для среднего коэффициента фильтрации в слоистых толщах.

Необходимо отметить, что допущения о постоянстве напорных градиентов в вертикальных сечениях при неоднородных слоях эпизодически делались и раньше, но наиболее полное выражение они получили лишь в трудах Каменского по динамике подземных вод, в которых он придерживался выдвинутого им основного принципа наиболее полного отражения конкретных особенностей геологического строения водоносных пластов и режима подземных вод. Полученные ученым уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях, как и уравнения Буссинеска, конечноразностными формами которого они являются, также основываются на гидравлической теории, т. е. на предпосылках допущения постоянных градиентов в вертикальных сечениях.

Важным для гидравлической теории является положение Каменского о характере движения воды в слоистых толщах, когда водоносные слои переслаиваются со слабопроницаемыми. В частности, для водоносной толщ, состоящей из верхнего малопроницаемого и нижнего хорошо проницаемого слоев, ученый отмечал, что в верхнем фильтрация идет почти вертикально вниз, а в нижнем изменяет свое направление на горизонтальное. При этом он указывал, что подобное положение подтверждается опытами в фильтрационных лотках с окрашиванием струй. На основании такого результата Каменский, исследуя вопросы движения подземных вод под плотинами и в обход их, дал приближенное решение задачи по фильтрации под плотиной, заложеной на двухслойном основании [17].

Теория установившегося движения подземных вод

Фундаментальные вопросы теории установившегося движения грунтовых вод нашли освещение в капитальной работе Г. Н. Каменского «Основы динамики подземных вод» [14, 17], переизданной с дополнениями, в частности по теории установившегося движения грунтовых вод, в 1943 г. [29].

Для условий стационарной фильтрации Каменский предложил новые разработки по движению воды в однородных и неоднородных водоносных пластах, по определению подпора грунтовых вод, по движению воды к

скважинам, по фильтрации под плотинами, основанными на неоднородной толще водопроницаемых грунтов, и по другим вопросам. Движение грунтовых вод в водоносных пластах Каменский рассматривал без учета и с учетом их питания сверху инфильтрационными водами.

При исследовании движения грунтовых вод в однородных пластах без учета инфильтрации ученый вывел новые зависимости для расчетов уровней и расходов грунтовых вод. Он получил приближенное уравнение для наклонного пласта, выведенное из дифференциального уравнения Дюпюи на основе применения теоремы о средней. Существенным отличием полученного уравнения от формулы для горизонтального пласта Дюпюи являлось различие мощностей и уровней грунтовой воды в наклонном пласте. В горизонтальном пласте этого различия не было: уровни отсчитывались от кровли подстилающего водоносный слой водоупорного слоя. Применяя теорему о средней, Каменский перешел к более общему случаю неплоского грунтового потока с переменной шириной. Он получил также приближенное уравнение движения грунтовых вод в наклонном пласте при учете инфильтрации на основе использования при интегрировании теоремы о средней.

Уравнение для наклонного пласта распространено также на случай напорного потока переменной мощности. Для однородных водоносных толщ получены были и аналитические зависимости при случае непараллельного движения грунтовых вод, когда в плане прямые линии токов расходятся или сходятся.

Большой вклад в теорию движения грунтовых вод в однородных слоях Каменский сделал при рассмотрении их движения в междуречном массиве при инфильтрации сверху. Ученый вывел общие зависимости, по которым депрессия, представляющая кривую эллипса, могла быть рассчитана для всего междуречного массива от одной реки до другой. При инфильтрации, равной нулю, получилась как частный случай формула Дюпюи. Из уравнения кривой депрессии, исходя из условия, что на водоразделе грунтовых вод расход равен нулю, было найдено выражение для определения расстояния от реки до водораздела грунтовых вод. Было доказано, что это расстояние зависит от положения уровней в реках, ограничивающих междуречный массив. При равенстве уровней водораздел грунтовых вод находится на середине междуречного массива.

Анализируя зависимость для кривой депрессии, Каменский показал, что, чем больше величина инфильтрации сверху и меньше коэффициент водоносного пласта, тем выше уровень грунтовых вод на водоразделе. Эти положения являются исходными для суждения о колебаниях уровня грунтовых вод в зависимости от изменения величины инфильтрации, хотя уравнение и выведено для условий стационарной фильтрации, а колебания уровня происходят в условиях неустановившегося движения. Но независимо от этого полученное уравнение дает вполне определенную основу для суждения о направлении процесса колебаний грунтовых вод и о возможных предельных амплитудах колебаний. Амплитуды зависят от расстояния от реки: приближаются к нулю близ берегов и достигают максимума на середине междуречья.

Рассмотренные зависимости позволяют решать задачи о подпоре грунтовых вод при наличии инфильтрации и о возможностях потерь воды из водохранилищ. Действительно, если происходит подъем воды в водохранилище, то водораздел грунтовых вод приближается к водохранилищу. Потеря воды из водохранилища будет происходить лишь в случае, если после того, как водораздел грунтовых вод приблизится к водохранилищу, подъем уровня в нем будет продолжаться. Полученные зависимости позволяют также определять инфильтрацию при данном стоянии уровня.

Первостепенное значение в трудах Г. Н. Каменского имеют исследования, посвященные движению подземных вод в неоднородных пластах. Эти исследования послужили основанием для последующего развития теории движения подземных вод в неоднородных толщах, которое продолжается в настоящее время.

Главнейшие случаи неоднородного строения водоносных слоев в отношении водопроницаемости следующие: слоистость, фаціальная изменчивость пластов по простиранию и падению, изменчивость текстуры и структуры пород, изменчивость в степени развития и направлении структурных пор, неравномерность развития трещиноватости, соприкосновение толщ пород, различных по составу, строению и водопроницаемости [17]. На основе гидравлической теории движения подземных вод Каменский вывел широко применяющиеся формулы для среднего коэффициента фильтрации слоистых толщ, когда движение подземных вод происходит параллельно слоям и когда оно перпендикулярно им. Для вывода среднего коэф-

коэффициента фильтрации при движении воды в слоистой толще параллельно слоям был применен принцип постоянства напорных градиентов для всех слоев в исследуемых сечениях потока. Эта формула была получена в 1931 г. и доложена Первому Всесоюзному гидрогеологическому съезду.

Для неоднородных водоносных пластов Каменский рассмотрел случаи движения грунтовых вод в слоистом горизонтальном пласте, движение напорных вод в пласте постоянной мощности при постепенно изменяющейся водопроницаемости, движение подземных вод в водоносных пластах при резких сменах водопроницаемости пород в горизонтальном направлении. Все эти случаи ученый описал расчетными аналитическими зависимостями. Кроме того, применяя теорему о средней при интегрировании, ученый вывел приближенное уравнение для неоднородных пластов сложного строения, одинаково применимое и к грунтовому потоку со свободным уровнем, и к напорному потоку. Как на частный случай учета неоднородности строения водоносной толщи и различий в притоке воды с разных сторон к центральной скважине опытного куста можно указать на способ Каменского, предложенный им для определения коэффициента фильтрации в условиях асимметричной воронки депрессии при откачках, учитывающей указанные условия и потому дающий более точные значения коэффициента фильтрации толщи.

Анализируя движение воды в двух горизонтально залегающих водоносных слоях, образующих единый водоносный пласт, ученый обратил внимание на то, что уровень в нижнем слое ниже, чем в верхнем, поскольку происходит по пути движения воды перетекание воды из верхнего слоя в нижний. При получении зависимости Каменский делал допущение, что кривая зеркала грунтовых вод верхнего слоя и кривая пьезометрических уровней нижнего слоя совпадают, что является вполне вероятным при небольших падениях депрессионной поверхности.

В случае постепенно изменяющейся водопроницаемости напорного водоносного слоя в направлении движения подземных вод аналитическое выражение показало, что при возрастании водопроницаемости по направлению потока кривая депрессии обращена вогнутостью вверх, а при убывании — выпуклостью вверх. Получена подобная за-

висимость и для грунтовых вод в условиях такого же изменения водопроницаемости водоносного слоя.

Для резкой смены водопроницаемости пород в горизонтальном направлении формула расхода грунтового потока позволила установить характер изменения в крутизне депрессии при переходе подземного потока из одних пород в другие. При переходе из менее проницаемого слоя в хорошо проницаемый кривая депрессии выполаживается. Менее проницаемые породы создают как бы подпор грунтовому потоку при переходе из более проницаемого слоя в менее проницаемые, в которых получается резкое увеличение крутизны кривой депрессии.

Теория неустановившегося движения грунтовых вод

Развитие теории неустановившегося (переменного во времени) движения грунтовых вод применительно к решениям гидрогеологических задач определялось потребностями гидрогеологической науки и практики социалистического строительства. Большое значение имело правильное решение вопроса о подпоре грунтовых вод и подтоплении территории, обуславливаемых строительством гидротехнических сооружений, водохранилищ. В связи с этим Каменский выдвинул и сформулировал новую задачу гидрогеологии — прогноз будущих изменений режима грунтовых вод под влиянием гидротехнического строительства. До 1940 г. в расчетах подпора грунтовых вод использовались лишь формулы для установившегося движения. Но они, естественно, не могли отразить колебания уровня грунтовых вод, вызываемые колебаниями уровня в водохранилище, который иногда в процессе сработки понижается, а при паводках повышается на несколько метров. Ученый поставил цель дать прогноз подпора грунтовых вод с учетом колебаний уровня в водохранилище. Он в поисках более удобного решения дифференциального уравнения неустановившегося движения грунтовых вод Буссинеска одномерного потока в линеаризованной форме остановился на численном решении методом конечных разностей. В результате впервые для решения гидрогеологических задач Г. Н. Каменский вывел в 1940 г. дифференциальное уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях для одномерного потока с расчетными сечениями, расположенными

через одинаковые расстояния, и с уровнями, выраженными в относительных или абсолютных отметках [28]. Это же уравнение им было получено и непосредственно из рассмотрения баланса грунтового потока. Оно относилось к случаю, когда водоупорный слой, подстилающий горизонт грунтовых вод, имел наклоны в ту или иную сторону, но было применимо и для горизонтального подстилающего водоупорного слоя. Для последнего случая Каменский на основе составления баланса потока получил уравнение в конечных разностях, в которое входят квадраты мощностей потока в различных сечениях.

Уравнение с уровнями, выраженными через отметки, было использовано для расчета развития подпора грунтовых вод в прибрежной полосе Учинского водохранилища канала Москва—Волга с апреля 1936 г. до декабря 1938 г. Сопоставление вычисленных уровней с наблюдаемыми показало довольно близкое сходство. Отмечая перспективы применения уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях ученый указал на возможность с их помощью прогнозировать уровень на орошаемых площадях, изучать процессы естественного движения грунтовых вод, их баланса и режима [28].

В конце того же 1940 г. Каменский, исследуя вопрос о гидродинамических основах режима грунтовых вод, вновь рассмотрел уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях. Ученый не отрицал важности разработки теории движения грунтовых вод путем получения аналитических решений дифференциального уравнения их неустановившегося движения, но указывал и на потребность в более доступном методе исследования явлений нестационарного движения грунтовых вод. В качестве такого метода он предложил уравнения в конечных разностях, позволяющие производить не только численные решения, но и выяснять некоторые закономерности в процессе развития движения грунтовых вод во времени. Уравнения были составлены в общей форме с учетом наклонов водоупорного подстилающего слоя и разных расстояний между расчетными сечениями. В эти уравнения уже вошли и мощности грунтового потока, и отметки уровней в расчетных сечениях. Зависимости были составлены исходя из баланса грунтовых вод на исследуемом участке без привлечения дифференциального уравнения неустановившегося движения грунтовых вод, которое также составляется исходя из баланса потока.

Каменский считал, что уравнение движения грунтовых вод в конечных разностях вполне может служить основой для математического анализа режима и баланса грунтовых вод, так как оно связывает в одну зависимость изменения или колебания уровня грунтовых вод во времени с основными элементами грунтового потока (величина инфильтрации атмосферных осадков, водопроницаемость и мощность водоносного пласта, уклон или форма поверхности грунтовых вод) и с состоянием влажности грунта над зеркалом грунтовых вод, или, иначе, в зоне аэрации. Чтобы полнее отразить влияние геологического строения на режим грунтовых вод, ученый вывел уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях для неоднородных пластов, выразив расходы обобщенной формулой, соответствующей условиям, когда горизонт грунтовых вод заключен в неоднородной толще. Как частный случай отсюда получалось уравнение для однородного водоносного пласта с горизонтальным основанием, содержащее квадраты мощностей водоносного горизонта, причем расчетные сечения расположены через неравные расстояния. Каменский вывел также уравнение движения грунтовых вод в конечных разностях для потока переменной ширины (радиального потока) [52].

Выведенные уравнения были применены для численного решения задачи прогноза влияния колебаний уровня Рыбинского водохранилища на режим грунтовых вод с учетом влияния инфильтрации атмосферных осадков. Формулы были использованы также для расчетов инфильтрационного питания и определения недостатка насыщения породы по зимнему спаду уровня, когда инфильтрация близка к нулю. При этом значение недостатка насыщения породы получилось близким к лабораторному.

Каменский предложил способ подбора одинаковых расстояний между сечениями и одинаковых промежутков времени таким образом, чтобы удвоенное произведение коэффициента фильтрации, средней мощности водоносного слоя и расчетного промежутка времени, деленное на произведение недостатка насыщения породы и квадрата расстояния между расчетными сечениями, равнялось единице*.

* Полученная величина для конечно-разностных уравнений носит название условия устойчивости. Если она равна или меньше 1, решение конечно-разностного уравнения является устойчивым, если же больше единицы — решение неустойчиво, и с течением

При этом значительно упрощалось конечно-разностное уравнение, которое ученый и применил, рассчитав характерные уровни грунтовых вод по одному из створов для работы Рыбинского водохранилища по графику среднего года. Линейные конечно-разностные уравнения, полученные Г. Н. Каменским, представляют собой явную систему, при которой неизвестные уровни находятся непосредственно из уравнений. При неявной системе для вычисления уровней необходимо решать одновременно всю систему линейных уравнений.

Уравнения в конечных разностях Каменский применял и при исследовании вопросов гидрохимического режима районов оросительных систем Прикаспийской низменности. Ученый считал, что теоретической основой для решения этих вопросов могут служить уравнения водного и солевого балансов. Уравнения водного баланса грунтовых вод для площади выделенного участка Каменский выражал через элементы баланса на поверхности земли и в грунтовом потоке, а также через изменения запасов воды на поверхности и в зоне аэрации. Затем, представляя величину инфильтрации через элементы баланса на поверхности земли и изменения запасов воды на поверхности и в зоне аэрации, ученый пришел к сокращенному выражению баланса грунтовых вод. Это уравнение Каменский перевел в конечно-разностное уравнение неустановившегося движения грунтовых вод для случая одномерного потока путем замены расходов потока через их выражения. Аналогичным путем было составлено уравнение солевого баланса. При этом учитывалось, что изменения запаса солей на выделенном участке является результатом алгебраического суммирования солей, поступающих с потоками грунтовых вод, из атмосферы и другими путями.

Пользуясь приведенными уравнениями водного и солевого балансов, Каменский наметил несколько типов гидрохимического режима. Позже ученый рассмотрел принципы прогноза гидрохимического режима грунтовых вод [57]. Здесь он отметил, что изменения гидрохимического режима при орошении и гидрохимическом строительстве вызываются подпором грунтовых вод в сочетании с филь-

времени получаемые результаты все более и более расходятся с действительными.

трацией из водохранилищ и крупных каналов и инфильтрацией оросительных вод. Образующиеся при этом потоки создают сложную гидрохимическую систему. Исследование таких потоков во времени является сложной задачей. Каменский считал, что одним из способов ее решения в общем случае может служить вычисление с помощью полученных им уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях для двухмерного потока в плане. Расчет изменения уровня грунтовых вод под влиянием подпора или орошения производится путем последовательных вычислений для сечений грунтового потока, выделенных сеткой квадратов, или вдоль створа по направлению потока. Уравнение для двухмерного потока было получено Г. Н. Каменским в 1950 г. и изложено в его отчете за 1953 г., но опубликовано позже — в 1955 г.

Уравнения в конечных разностях для двухмерного потока грунтовых вод в однородных и неоднородных пластах были представлены в развернутой форме и выражены через уровни и мощности грунтового потока с целью вычисления изменений уровня и гидрогеологических параметров при расположении скважин по квадратной сетке. В частности, Каменский изложил методику определения при помощи уравнений в конечных разностях для одномерного и двухмерного потоков недостатка насыщения породы (при повышении уровня) и ее водоотдачи (при понижении уровня) по данным наблюдений за режимом грунтовых вод в зимние периоды, в течение которых инфильтрационное питание грунтовых вод можно приравнять к нулю.

Методика прогноза изменений режима грунтовых вод и развития подтопления в зоне подпора для условий двухмерного потока была довольно подробно разработана Каменским в 1958 г. [61]. Он привел уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях для однородных и неоднородных пластов. От них ученый перешел к уравнениям установившегося движения, приняв равным нулю член, выражающий изменение уровней во времени. Для объяснения способа расчета изменения уровней при двухмерном потоке Каменский проанализировал развитие подпора для случая, когда исследуемый участок примыкает к двум водоемам, береговые линии которых образуют прямой угол. Схематически это напоминало примыкание канала к водохранилищу.

Расчеты показали, что скорость подъема уровней имеет наибольшую величину по линии, делящей пополам угол между берегами водоемов.

Последний раз к уравнениям неустановившегося движения в конечных разностях для одномерных и двухмерных потоков грунтовых вод Каменский обратился при рассмотрении гидродинамических принципов изучения режима грунтовых вод и его изменения под влиянием искусственных факторов [66]. Здесь подробнее, чем ранее, он рассмотрел уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях для радиального и одномерного потока; исследовал также уравнение неустановившегося движения грунтовых вод для двухмерного потока в общем случае неоднородного пласта, когда коэффициент фильтрации меняется от сечения к сечению; проанализировал уравнения в конечных разностях для установившегося движения грунтовых вод, получаемые из уравнений для неустановившегося движения. В этой работе даются уравнения для случаев, когда поверхность водоупорного слоя, подстилающего грунтовые воды, негоризонтальна и горизонтальна.

Говоря о применении уравнений в конечных разностях, Каменский указывал, что они позволяют решать разнообразные гидрогеологические задачи, которые сводятся к двум типам: первый — исследование естественного режима и составление баланса грунтовых вод, второй — прогноз режима грунтовых вод. Оба типа тесно связаны между собой, так как анализ естественного режима является основой для расчета прогноза.

Заканчивая анализ развития метода конечных разностей, следует привести один из ярких примеров его применения: расчет притока воды в шахты. Он изложен в работе, посвященной гидродинамическим принципам исследования режима водопритока в горные выработки [36]. Каменский отметил, что эти принципы имеют актуальное значение для оценок режима водопритока при проходке выработок и при их эксплуатации, так как водоприток в таких условиях меняется. С подобным явлением пришлось встретиться при восстановлении шахт Донецкого бассейна и других районов, находившихся во временной немецкой оккупации.

Каменский выдвигал гидродинамические принципы анализа режима шахтных вод при затоплении и осушении шахт, справедливо полагая, что они должны помочь уточ-

нить гидрогеологические расчеты и могут способствовать развитию научной обработки материалов наблюдений указанных процессов. Ученый подчеркивал, что с гидродинамической точки зрения затопление шахт и последующее осушение их представляют собой характерное выражение неустановившегося или изменяющегося во времени движения подземных вод, так как при этом непрерывно изменяются уровень воды в шахте и в окружающих водопроницаемых породах, количество воды в горных выработках и в окружающих породах, а также приток подземных вод в горные выработки.

Анализируя приток воды в шахты, Каменский получил зависимости в конечных разностях для одномерного потока в однородной водоносной толще. Одномерность потока определялась тем, что была принята простейшая горная выработка удлиненной формы, действующая по схеме горизонтальной водосборной галереи. На основе балансовых уравнений в конечных разностях ученый определил величины изменения уровня в горной выработке при ее затоплении и осушении. Были проведены иллюстрационные расчеты по предлагаемой методике; соответственно им построены графики развития кривых депрессии при затоплении шахты притоком подземных вод в процессе осушения горной выработки при равномерной откачке; сделаны хронологические графики затопления и осушения шахт, на которых указывались кривые притока подземных вод в горную выработку и изменения уровня в ней.

Касаясь выполненных исследований режима водопритока, Каменский писал, что приведенный расчет затопления и осушения шахт должен пояснить применение метода конечных разностей к анализу режима шахтных вод. Наметившиеся при этих расчетах выводы о ходе указанных процессов, о закономерностях изменения притока воды в шахту и уровня воды еще не могли быть распространены на различные конкретные случаи, но, несомненно, имели принципиальное значение. Для того чтобы приблизить рассмотренную методику к практике, ученый считал необходимым исследовать, как влияют на ход затопления и осушения шахт отдельные факторы: различные соотношения между коэффициентом фильтрации и водоотдачей и недостатком насыщения, неоднородность толщи горных пород в отношении водопроводимости, размер горных выработок и, в частности, распределение их по объему горизонта.

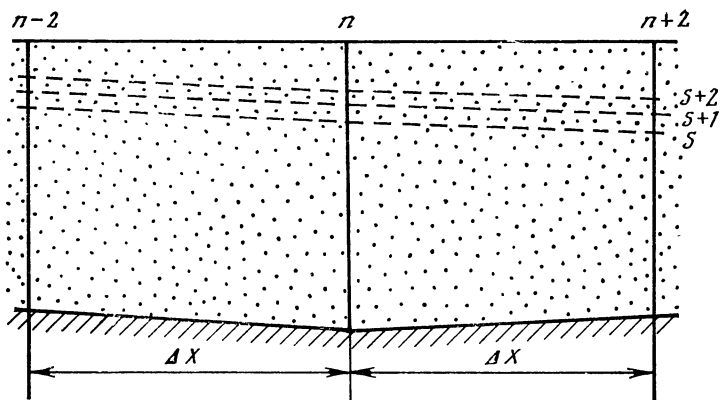
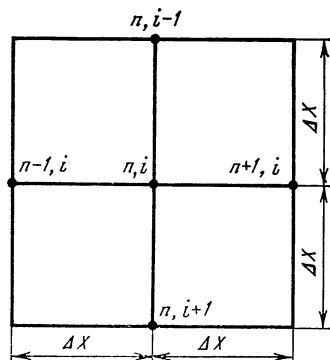


Рис. 2. Схема расположения скважин ($n-2$, n , $n+2$) при одномерном потоке для гидрогеологических расчетов по уравнению в конечных разностях

Рис. 3. Схема расположения скважин ($n, i-1$, n, i , $n, i+1$; $n-1, i$; $n+1, i$) при двухмерном в плане потоке грунтовых вод для гидрогеологических расчетов по уравнению в конечных разностях



В заключение рассмотрения вопроса о конечно-разностных уравнениях приведем для примера уравнения для одномерного и двухмерного в плане потоков. Уравнения Г. Н. Каменского в конечных разностях имеют более сложный вид для неоднородных водоносных пластов и более простой — для однородных. В линеаризованной форме они еще более упрощаются. Так, линеаризованное уравнение для одномерного потока (по трем скважинам (рис. 2), в частности, выражается в виде

$$\frac{\mu (H_{n, s+2} - H_{n, s})}{\Delta t} = \frac{kh_{cp}}{\Delta x^2} (H_{n-2, s+1} - 2H_{n, s+1} + H_{n+2, s+1}) + w,$$

где μ — недостаток насыщения породы; H — отметки уровня грунтовых вод в сечениях (скважинах) $n-2$, n , $n+2$ на моменты времени s — начало, $s+1$ — середина,

$s+2$ — конец отрезка времени Δt ; k — коэффициент фильтрации; $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность водоносного слоя; Δx — расстояние между сечениями (скважинами), расположенными вдоль потока; w — величина инфильтрации (испарения с поверхности грунтовых вод).

Для двухмерного однородного водоносного слоя линеаризованное уравнение в конечных разностях Г. Н. Каменского по пяти скважинам, расположенным в форме квадратного пакета (рис. 3), имеет вид

$$\frac{\mu (H_{n, i, s+2} - H_{n, i, s})}{\Delta t} = \frac{kh_{\text{ср}}}{\Delta x^2} (H_{n-1, i, s+1} + H_{n+1, i, s+1} + H_{n, i-1, s+1} + H_{n, i+1, s+1} - 4H_{n, i, s+1}) + w,$$

где $n, i-1$; $n-1, i$; n, i ; $n+1, i$; $n, i+1$ — пункты (скважины) отметок уровня грунтовых вод.

Уравнения Г. Н. Каменского в конечных разностях широко применяются в практике гидрогеологических расчетов по режиму и балансу грунтовых вод, а также для определения гидрогеологических параметров и прогнозов режима.

Учение о подпоре грунтовых вод

Большое значение имели работы Каменского по подпору грунтовых вод. Явления подпора возникают в прибрежных местностях в связи с подъемом уровня в реках при устройстве водоподпорных сооружений и водохранилищ, если существует гидравлическая связь грунтовых и поверхностных вод. При этом происходят постепенное повышение уровня грунтовых вод и некоторое преобразование формы их поверхности. Предельный подъем уровня в некоторых случаях достигается в течение весьма продолжительного времени, исчисляемого годами, тогда существенное практическое значение приобретают промежуточные положения уровня, которые имеют место в процессе развития подпора. На побережьях крупных водохранилищ, уровень в которых все время колеблется, предельный подпор уровня грунтовых вод никогда не достигается.

Определение подпора грунтовых вод при гидротехническом строительстве состоит из двух различных задач. Первая — определение предельного или так называемого стационарного подпора при заданном стационарном уровне в водохранилище. Вторая — определение подпора с учетом влияния колебания уровня водохранилища, т. е.

определение будущих колебаний уровня грунтовых вод в условиях сработки и повышений уровня в водохранилище. Каменский формулирует эту задачу как прогноз будущего режима грунтовых вод, создающегося под влиянием колебаний уровня водохранилища. К ней же может быть отнесено и рассмотрение вопроса о развитии подпора.

В 30-е годы Каменский занимался исследованием первой задачи, которая решается с помощью уравнений установившегося движения грунтовых вод (Дюпюи, Кене, Павловского, Каменского и др.). Его работы успешно развивали учение о подпоре грунтовых вод для условий их установившегося движения. В конце 30-х и в последующие 40—50-е годы Каменский перешел к анализу второй задачи, развив учение о подпоре грунтовых вод в условиях неустановившегося движения, применяя уравнение в конечных разностях.

Предельный подпор для случая, когда расход грунтовых вод после подпора не изменяется, определяется в однородных толщах для горизонтального или наклонного пластов по формулам Павловского с расчетом приведенной мощности наклонного пласта по формуле Каменского. Во всех рассмотренных случаях исследования производились для условий, когда урез воды водохранилища после подпора или не перемещался, или перемещался в горизонтальном направлении. Основным принципом для получения используемых зависимостей являлось связывание уравнений движения грунтовых вод до и после подпора через приравнивание величины расхода потока или его заменяющей величины нормальной глубины по Павловскому, поскольку эти характеристики по принятому условию остаются постоянными. Зависимости нашли широкое применение в практике гидротехнического строительства для расчетов предельного подпора грунтовых вод. Важное и оригинальное значение имели полученные при использовании этих зависимостей результаты исследований оценок подпора для наклонных водоносных слоев.

Ученый иллюстрировал использование полученных зависимостей конкретными примерами. В частности, он определил подпор грунтовых вод по створу наблюдательных скважин в Замоскворечье, расположенному между Дербеневской набережной и Парком культуры и отдыха [16]. При этих расчетах допускалось, что водоносный пласт однородный и расход после подпора не изменялся. Но фактически пласт имел сложную неоднородность, а водо-

раздел грунтовых вод перемещался после подпора. Это принималось во внимание в последующих расчетах при учете неоднородности пласта и смещения водораздела грунтовых вод.

Итак, после подпора грунтовых вод на междуречном массиве изменяется расход грунтового потока, поскольку происходит смещение их водораздела. Для однородного водоносного пласта Каменский рассмотрел вначале общий случай, когда подпор происходит в обеих реках, ограничивающих междуречный массив. Такой случай также соответствует наличию в зоне подпора сухого оврага или балки, в которых уровень грунтовых вод до подпора находится ниже дна тельвега, но после этой зоны достигает его дна. Овраг будет дренировать грунтовый поток, играя роль другой дренирующей долины.

Г. Н. Каменский получил также зависимость для расчетов подпора в частном случае, когда уровень в одной из рек, ограничивающих междуречный массив, после подпора остается тем же, что и до него, в то время как уровень в другой реке повышается и вызывает подпор. Здесь формулы для расчетов подпора приобретают более простой вид. Их же было рекомендовано применять и для случая перемещения уреза воды в реке, что вполне допустимо при хорошей водопроницаемости берега. Если берег покрыт недостаточно проницаемыми делювиальными, аллювиальными и другими образованиями, то применение таких формул не оправдывается. В этом случае под покрывающими берег или склон малопроницаемыми породами образуется напорный поток, который разгружается не сразу на урезе, а на некотором расстоянии от него в пределах водохранилища.

Ученый подчеркивал, что зависимость для подпора на междуречном массиве хорошо выявляет дренирующее влияние реки, где уровень остается без изменений. Оно усиливается при подпоре уровня в другой реке. При этом Каменский показал, что формулы Дюпюи и Павловского, не учитывающие этого влияния, в случае относительно близкого расположения за водоразделом другой реки или дренирующего оврага дают совершенно неправильные, крайне преувеличенные результаты определения подпора. Но если ширина междуречья значительна, а сечения, где определяется подпор, находятся недалеко от реки, в которой происходит подъем уровня, то уравнение для подпора на междуречье приближается к формуле для подпора при

горизонтальном пласте, получаемой из обыкновенного уравнения Дюпюи при допущении постоянства расхода грунтового потока. Отсюда ученый сделал вывод, что формула Дюпюи может применяться к расчету подпора грунтовых вод в том случае, когда ширина междуречья очень велика или за участком, где определяется подпор, нет поблизости какой-либо реки, долины или оврага, могущих дренировать при подпоре грунтовой поток.

Насколько точны выведенные Каменским формулы, показывают следующие данные. Расчеты подпора грунтовых вод, выполненные для междуречного массива с водоносным пластом, заключенным в неоднородных породах (в расчете использовалось уравнение для однородных пород), при подъеме уровня в реке 2,53 м дали на расстояниях 140—1025 м подпоры 2,4—1,01 м, наблюдаемые — были соответственно 2,3—0,67 м.

Для установившегося движения Г. Н. Каменский рассматривал также подпор грунтовых вод в неоднородных по водопроницаемости пластах. При этом он получил выражения для определения подпора в случаях, когда водоносный пласт является горизонтальным и состоит из двух слоев разной водопроницаемости и когда водоносный пласт состоит из нескольких горизонтальных слоев (более общий случай неоднородности).

Анализируя выведенную формулу подпора для двух слоев различной водопроницаемости, ученый установил, что при неоднородном строении водоносных слоев пласта величина подпора зависит и от водопроницаемости отдельных слоев, вернее от соотношения величин водопроницаемости, тогда как в уравнение подпора однородного пласта коэффициент фильтрации не входит. Если прочие условия равны, то при большей водопроницаемости нижней части водоносного пласта подпор будет иметь большую величину и, наоборот, при меньшей — меньшую по сравнению с однородным водоносным пластом. При однородном строении толщи величина подпора тем больше, чем больше мощность водоносного пласта. Учитывая эти теоретические выводы о важности знания состава и водопроницаемости пород для изучения вопроса о подпоре грунтовых вод, ученый подчеркнул, что мало знать средний коэффициент фильтрации толщи, нужно еще обладать ясным представлением о строении водоносного пласта во всех его частях, например необходимо иметь данные послойного определения водопроницаемости в каждой буровой скважине.

В уравнения подпора в случае, когда водоносный пласт состоит из нескольких слоев, изменяющихся в горизонтальном направлении, входят средние коэффициенты фильтрации до подпора и после него. Для удобства произведение среднего коэффициента фильтрации на мощность водоносного пласта согласно формуле среднего коэффициента были заменены суммой произведений коэффициентов фильтрации каждого слоя на его мощность. Каменский исследовал два случая определения подпора: первый — над грунтовыми водами лежит достаточно мощная однородная толща, в которой при подпоре и происходит подъем уровня; второй — при подпоре повышение уровня совершается в пределах двух и более слоев разной водопроницаемости. В обоих случаях коэффициент фильтрации слоя или нескольких слоев после подпора известен в сечении, где задается величина подпора. В другом сечении коэффициент фильтрации остается известным после подпора лишь в первом случае, поскольку уровень грунтовых вод до подпора и после него находится в одном и том же слое, что позволяет прямо находить искомую величину подпора. Во втором случае в сечении, где определяется подпор, величина коэффициента фильтрации этих слоев, в которых совершается подъем уровня, остается неизвестной, как и сама величина подпора. Здесь Каменский рекомендовал задаваться величиной подпора и определять коэффициент фильтрации, на основе полученного решения уточнять величину коэффициента фильтрации и снова повторять вычисление.

Ученый изучал подпор грунтовых вод радиального потока. Это важно для исследования площади прибрежной зоны водохранилища с таким очертанием берегового уреза воды, при котором поток является радиальным. Анализ полученной для оценки подпора зависимости показал, что если конфигурация и направление потока после подпора остаются такими же, то для расчетов подпора подходит уравнение, используемое и для одномерного потока. Если направление и форма потока после подпора изменяются, то необходимо учитывать изменения ширины потока в плане между линиями тока в расчетных сечениях. В некоторых случаях это удается, тогда расчет подпора можно сделать по выведенной зависимости.

Для построения карты прогноза гидроизогипс после подпора в общем случае рекомендуется иметь карту гидроизогипс до подпора, точное очертание уреза воды водо-

хранилища, достаточно точную топографическую карту с горизонталями и соответствующее количество створов скважин, по которым можно было бы делать ориентировочные расчеты подпора.

Для исследования развития подпора грунтовых вод во времени с учетом изменений уровня в водохранилищах и инфильтрационного питания Г. Н. Каменский применял метод конечных разностей, о котором подробно говорилось выше. Он и его ученики выполнили ряд прогнозов для районов проектируемых и строящихся водохранилищ. В частности, расчеты прогноза изменений уровня грунтовых вод производились для водохранилищ районов канала Москва—Волга и для каскада водохранилищ на Волге. Прогнозы такого рода выполнялись с применением гидравлических интеграторов и на ЭВЦМ, использующих в вычислениях конечно-разностную методику, которую впервые применил для гидрогеологических расчетов Каменский. Следует упомянуть, что конечно-разностные уравнения в математике были известны задолго до применения их Каменским. Они использовались при решении различных задач, например в теории и практике исследований теплопроводности. Но Каменский ввел расчеты методом конечных разностей в гидрогеологические исследования. Это стало выдающейся заслугой ученого и сыграло огромную роль для развития гидрогеологической науки и практики.

Режим и ресурсы подземных вод

Режим подземных вод

Анализ режима подземных вод Г. Н. Каменский считал основой для изучения их баланса, значение которого важно для оценок ресурсов подземных вод, для гидрогеологических исследований в связи с мелиорацией земель и т. д.

Ученый определял режим подземных вод как поведение их во времени под влиянием геологических и климатических факторов [35]. Он не отрицал также и воздействие на формирование режима деятельности человека (нарушенный режим). В связи с этим Каменский рассмат-

ривал, например, вопросы изменения режима грунтовых вод под влиянием мелиорации, затопления и осушения шахт и т. п. Он подчеркнул, что при изучении режима подземных вод следует иметь в виду не только те явления, которые наблюдаются в грунтовых и вообще относительно неглубоких водах — сезонные, суточные и многолетние, но и совершающиеся в глубоких пластах более медленные процессы, результаты которых сказываются лишь в течение длительного геологического времени. Опираясь на такое широкое толкование режима подземных вод, ученый дал характеристику основных черт режима для выделенных им генетических типов подземных вод, т. е. для грунтовых и артезианских вод выщелачивания, для грунтовых вод континентального засоления.

Характерным для грунтовых вод (включающих карстовые и трещинные) Каменский считал, что они находятся под непосредственным влиянием атмосферных факторов и поверхностных вод, имеют закономерные сезонные колебания уровня, дебита, химического состава и температуры. Все это формирует их режим. Исследуя баланс грунтовых вод, относящийся к водам выщелачивания, ученый отмечал, что для них имеет доминирующее значение постоянный подземный сток. Касаясь грунтовых вод континентального засоления, Г. Н. Каменский делал вывод, что в их балансе доминирующее значение имеет испарение. В районах многолетней мерзлоты надмерзлотные грунтовые воды имеют своеобразный режим, обусловленный зимним промерзанием, переходом грунтовых вод деятельного слоя в твердую фазу, перемещаемостью источников, питающихся этими водами.

Данные о закономерностях режима и баланса грунтовых вод свидетельствуют о наибольшей их динамичности среди других типов подземных вод. Для характеристики динамичности режима Г. Н. Каменский вводит понятие коэффициента водообмена, который определяется как отношение годового расхода грунтового потока к общему объему грунтовой воды. Величина этого коэффициента для грунтовых потоков в условиях влажного климата, при котором на территории достаточно развита эрозийная сеть, равна 0,1—1,0. Она повышается в карстовых водах, где имеет место интенсивная циркуляция, до 20 и снижается до сотых и тысячных долей единицы в водоносных породах с относительно невысокой водопроницаемостью или со слабо развитой эрозийной сетью.

Анализируя режим артезианских вод, Каменский писал, что эти воды подвержены влиянию атмосферных факторов только в краевых зонах артезианских бассейнов, где имеются сезонные колебания напорного уровня, а иногда и химического состава. Подобное влияние затухает по мере удаления от краевой зоны бассейна или от «окон» в кровле артезианских пластов. В крупных бассейнах на значительной территории сезонные колебания отсутствуют, за исключением колебаний в скважинах под действием атмосферного давления.

Режим артезианских вод зависит от типа бассейна и степени его дренирования. Характеризуя особенности стока в артезианских бассейнах, ученый обращал внимание на его замедленность в широких впадинах платформ. Коэффициент водообмена в наиболее благоприятных условиях не превышает 0,00001 (артезианский бассейн Днепро-Донецкой впадины), а для бессточных бассейнов падает до нуля, т. е. режим их вод является застойным. Каменский указывал на более динамичный в отличие от рассматриваемого режим вод малых артезианских бассейнов горных областей. Здесь имеется глубокое проникновение влияния атмосферных факторов, водообмен сравнительно высок и приближается к величинам, характерным для грунтовых вод с интенсивной циркуляцией.

Отмеченные закономерности в режиме относятся лишь к водам инфильтрационного (или континентального) и морского (или осадочного) генетических циклов. Режим вод метаморфического и магматического циклов не изучен. Каменский писал о возможности влияния атмосферных факторов и в их числе атмосферного давления на дебит, химический состав и температуру вод этих циклов лишь для восходящих источников в случае смешения их вод с грунтовыми. При этом он указывал, что о режиме глубинных гидротерм можно судить только гипотетически, учитывая роль высоких температур, давления газов и водяных паров, вероятных в зоне магматических очагов. Можно также предполагать здесь развитие восходящих токов термальных вод и вовлечение в циркуляцию вод боковых пород, прорванных интрузиями.

Наиболее подробно ученый исследовал режим грунтовых вод, учитывая его большое практическое значение. По результатам своих исследований он выделил типы режима грунтовых вод. Каменский отмечал, что влияние атмосферных и других разнообразных факторов, действуя-

щих на поверхности земли и в слоях горных пород зоны аэрации, приводит в различных геологических, геоморфологических и климатических условиях к бесконечному разнообразию проявлений режима грунтовых вод. Основываясь на выдвигаемых им представлениях и типах режима грунтовых вод, ученый наметил в этом разнообразии некоторую систему. Типы режима Каменский устанавливал по генетическим признакам, т. е. по факторам, формирующим режим. Региональные же видоизменения типов режима он определял прежде всего климатическими, а затем геологическими и геоморфологическими особенностями местности. Выделяемым типам ученый дал четкое объяснение и обоснование с точки зрения гидродинамической теории колебаний уровня грунтовых вод. Эту теорию, являющуюся основой для анализа режима грунтовых вод и взаимосвязи режима вод с их балансом, он развил в конечно-разностной форме и специально изложил в гидродинамических принципах изучения режима грунтовых вод [28, 52].

Г. Н. Каменский вначале (1947 г.) установил два типа режима для грунтовых и неглубоких напорных вод: водораздельный и прибрежный. Первый тип характеризует режим грунтовых вод водораздельных пространств в местах, достаточно удаленных от рек, что создает условия доминирующего влияния атмосферных осадков; второй — режим грунтовых вод, свойственный прибрежным местностям и долинам рек, формирующийся при наличии гидравлической связи с реками и преобладающего влияния колебаний их уровня на грунтовые воды. На определенном расстоянии от реки, где влияние колебаний ее уровня затухает и начинает сказываться влияние атмосферных факторов, Каменский выделял полосу смешанного или сложного режима грунтовых вод, формирующегося в результате суммарного действия факторов: реки и инфильтрации атмосферных осадков.

В своей капитальной работе «Поиски и разведка подземных вод» [34] ученый дал характеристику режима главных типов подземных вод. Он подробно исследовал вопросы не только о режиме грунтовых вод водораздельных местностей, формирующемся под воздействием атмосферных факторов, о режиме грунтовых вод в прибрежной зоне, создающемся под влиянием колебаний уровня рек, но и о режиме источников, о гидрохимическом режиме подземных вод, о режиме подземных вод

под влиянием искусственных или технических факторов, об организации наблюдений за этими режимами.

Спустя некоторое время Каменский разработал (в 1953 г.) полную классификацию генетических типов режима грунтовых вод, которую он построил также на гидродинамических принципах [52]. Здесь он выделил четыре основных типа режима: водораздельный, свойственный грунтовым водам водораздельных или междуречных массивов, где режим формируется под влиянием инфильтрации атмосферных осадков в сочетании с подземным стоком и частью испарением; прибрежный, свойственный грунтовым водам в прибрежной полосе, где основные черты режима создаются под воздействием колебания уровня реки; предгорный, или карстовый, свойственный водам предгорных конусов выноса или террас, а также карстовых массивов, где в формировании режима наряду с инфильтрацией атмосферных осадков также играет роль интенсивное поглощение речных и других вод поверхностного стока с прилегающих горных массивов, которое в сочетании с интенсивным подземным стоком в предгорных галечниках и карстах приводит к колебаниям грунтовых вод со значительными амплитудами; мерзлотный — свойственный надмерзлотным водам с полным или частичным промерзанием, которое в сочетании с другими факторами создает в надмерзлотных водах характерный режим.

Позднее (1960 г.), продолжив анализ вопросов о режиме, ученый отметил основные факторы, определяющие гидродинамическую сторону режима грунтовых вод: питание грунтовых вод в различных его выражениях и подземный сток [66].

Г. Н. Каменский придавал большое значение учению о режиме подземных вод для разрешения ряда конкретных задач развития народного хозяйства, например для исследования режима на участках проектируемых оросительных систем, гидротехнических сооружений, водохранилищ, прудов, лесных полезащитных полос, для изучения ресурсов подземных вод и т. д. Он подчеркивал, что для решения таких конкретных задач недостаточно находить то или иное объяснение влияния различных факторов на режим грунтовых вод, чем часто ограничивались прежние исследователи, а необходимо определять количественное выражение факторов, формирующих режим грунтовых вод (инфильтрация атмосферных осадков, подземный сток, испарение и т. д.), и прогнозировать возможные из-

менения режима грунтовых вод под влиянием совокупности действующих факторов как естественных, так и искусственных (подпор грунтовых вод, орошение, изменение питания грунтовых вод инфильтрацией на промышленных площадках и т. д.).

Главные пути решения указанных задач Каменский видел в разработке гидродинамических принципов исследования режима грунтовых вод, в использовании для этих целей уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях, применение которых уже оправдало себя в исследованиях вопросов режима грунтовых вод при подпоре. Такие уравнения дают возможность путем последовательных расчетов определять колебания уровня грунтовых вод, а также решать обратную задачу: по данным наблюдений за колебаниями уровня рассчитывать инфильтрационное питание и его изменения по сезонам года. Решение обратной задачи представляло новый метод исследования баланса грунтовых вод, разработанный Каменским.

Учитывая включение в конечно-разностные уравнения всех основных факторов, формирующих режим грунтовых вод, Каменский полагал, что подобными уравнениями можно описать выделенные выше типы режима и определять эти типы по ним. Система уравнений выражает гидродинамическую связь между всеми элементами грунтового потока, дает отчетливое представление о тех гидродинамических процессах, которые совершаются в потоке грунтовых вод под влиянием изменений во времени инфильтрации, уровней воды в граничных сечениях (в реках) или на отдельных участках потока (например, при откачке или искусственном дренаже). Таким образом, она становится математическим выражением основных явлений, из которых складывается режим грунтовых вод.

Для того чтобы получить тот или иной тип режима грунтовых вод, принимается то или иное значение или функциональное выражение основных факторов, формирующих режим инфильтрации и уровней воды в краевых сечениях потока (уровня рек). При постоянных уровнях воды в краевых сечениях получается водораздельный тип режима грунтовых вод, формирующийся под влиянием величины инфильтрации в сочетании с подземным стоком. При изменении во времени уровней воды в краевых сечениях (реках) образуются колебания уровня грунтовых вод, постепенно распространяющиеся в сторону от берега,

формируется прибрежный тип режима. Предгорный, или карстовый, тип режима получается при изменениях инфильтрационного питания, создающихся под влиянием поглощения наряду с атмосферными осадками речных вод или вод поверхностного стока. В пустынях и полупустынях в условиях равнинного рельефа доминирующее значение в балансе грунтовых вод приобретает испарение, которое нередко превышает величину атмосферных осадков, при этом уравнивания грунтовых вод часто отражают равновесие испарения с подземным стоком.

Г. Н. Каменский обращал особое внимание на необходимость изучения водообмена грунтовых вод и нижележащих водоносных горизонтов как на важную, хотя и грудную задачу [69].

Обобщая результаты исследований по режиму, ученый отмечал, что выделенные им генетические типы режима грунтовых вод и их региональные видоизменения намечают лишь основные подразделения в том разнообразии проявлений режима, которое наблюдается в природе и которое может быть выражено уравнениями неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях. Свою классификацию режимов он считал, как и всякую классификацию природных явлений, лишь схемой, указывающей пути, по которым надо следовать, чтобы охватить наблюдающееся в природе разнообразие. А для того, чтобы совершенствовать классификацию и полнее отобразить в ней действительность, необходимо учитывать разнообразные переходы между основными типами режима и различные случаи смешанного режима, которые в природе, как правило, преобладают. В качестве примеров Каменский приводил весьма распространенный переходный или смешанный режим на склонах долин, создающийся под влиянием атмосферных факторов и колебаний уровня в реках, указывал на элементы предгорного типа режима на водораздельных плато, террасах речных долин и на равнинах в случаях поглощения вод поверхностного стока и т. д., подчеркивал, что можно найти и много других случаев смешанного режима грунтовых вод.

Особенности гидрохимического режима, о котором уже ранее говорилось при рассмотрении уравнений неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях, Каменский исследовал, применяя уравнения водного и солевого балансов. Этим методом ученый изучал

гидрохимический режим районов оросительных систем Прикаспийской низменности [46], анализировал принципы прогноза гидрохимического режима грунтовых вод северной части Прикаспийской низменности [57].

В последний раз Каменский обратился к гидрохимическому режиму в монографии о грунтовых водах Прикаспийской низменности [67]. Он отметил, что значительная часть исследуемой площади в отношении формирования грунтовых вод и гидрохимического режима может быть охарактеризована в целом как бессточная, находящаяся в условиях засушливого климата. Прикаспийская низменность расчленена в процессе своего геологического развития на ряд районов с различным гидрохимическим режимом. Некоторые ее части находились в течение длительного времени в состоянии рассоления, а другие — в состоянии засоления. Выяснить гидрохимический режим отдельных различных частей Прикаспийской низменности можно, по мнению ученого, лишь исходя из представлений о ее геологической истории и об особенностях развития суши после отступления Хвалынского моря. Каменский выявил существенную и сложную роль соляных куполов в Прикаспийской низменности, которые оказывают дополнительное влияние на формирование гидрохимического режима. В монографии Каменский охарактеризовал три основных типа гидрохимического режима, выделенные им еще в 1955 г. Ученый считал, что их можно принять за основу для характеристики различных районов исследуемой территории и для целей прогнозов.

Ресурсы подземных вод

Важное место в работах Г. Н. Каменского занимали исследования, связанные с изучением и использованием ресурсов подземных вод. Ученый понимал, что научные представления о факторах накопления и распределения ресурсов подземных вод получают обобщение в проблеме их формирования [57]. Ее разработка намечает новый этап в развитии советской гидрогеологии, являющейся отражением научного прогресса в нашей стране.

Проблеме формирования подземных вод и перспективам работ над нею Каменский посвятил специальный доклад на совещании по этой проблеме. Доклад вызвал большой интерес специалистов, связанных с научными исследованиями и практикой использования подземных вод.

На том же совещании ученый доложил и о принципах прогнозов распределения ресурсов подземных вод степных районов СССР. Актуальность подобного вопроса была особенно остра в связи с необходимостью использования подземных вод на целинных и залежных землях. Геологические прогнозы распределения ресурсов подземных вод, как отметил докладчик, являются научной основой их разведки. Принципы прогноза водных ресурсов в недрах земли базируются на закономерностях их распределения, на характеристике водообильности геологических структур и на учении о формировании. К главнейшим несущим воду структурам Каменский относил артезианские бассейны; для грунтовых же вод он рекомендовал выделять водообильные участки, определяемые геоморфологическими условиями, как, например, аллювиальные отложения современных и древних долин, предгорные зоны галечников, участки лиманов и разливов в степных районах и т. п. Обобщая изложенный им материал по прогнозу распределения ресурсов подземных вод и их химизма, ученый указывал, что в целом принципы прогноза должны строиться для различных территорий с учетом особенностей их геологической истории, современной структуры и физико-географической обстановки на имеющихся фактических данных об эксплуатации и разведке подземных вод, на сравнении рассматриваемых районов с более изученными, т. е. фактически на применении принципа гидрогеологических аналогий, на использовании установленных закономерностей формирования и распределения подземных вод.

Учение о поисках и разведке подземных вод Г. Н. Каменский изложил в своем фундаментальном труде, не потерявшем значения по настоящее время [34]. Этот труд явился результатом длительной работы ученого, протекавшей в процессе преподавания курса гидрогеологии в Московском геологоразведочном институте. В работе не только дано систематическое изложение установившейся к тому времени методики гидрогеологических поисков и разведок и разрешения различных задач практической гидрогеологии, но и разработана эта методика вновь для ряда случаев, освоен новый материал из богатейшей гидрогеологической практики в Советском Союзе. Особенно автору пришлось поработать над формулировкой основных принципов поисков и разведок подземных вод и над методикой оценки ресурсов подземных вод, над вопроса-

ми режима подземных вод в связи с влиянием на них различных искусственных факторов — эксплуатации откачкой, подпора гидротехническими сооружениями, ирригации. Научной основой для практической методики поисков и разведки подземных вод послужило рассмотрение вопросов генезиса и режима подземных вод. Большое внимание было уделено теме поисков и разведки подземных вод как источников водоснабжения, в которой попутно развиты и общие приемы гидрогеологических исследований для этих целей.

Обобщающий труд под наименованием «Поиски и разведка подземных вод» появился в гидрогеологической литературе впервые. По содержанию он охватывал учение о способах выявления ресурсов подземных вод, их количественной и качественной оценки, а также включал комплекс гидрогеологических задач, возникающих в горном деле, в осушительных мелиорациях и ирригации.

Г. Н. Каменский рассмотрел основные определения: статические или вековые запасы водоносного пласта, естественные динамические запасы или расход подземного потока, эксплуатационные ресурсы подземных вод. Помимо этого, он разобрал понятие производительности водозаборных сооружений. Под вековыми запасами ученый понимал количество воды в объемных единицах, которое заключается в водоносном пласте и может быть извлечено из него при полном осушении. Выражением этого количества является произведение объема водоносного пласта на коэффициент водоотдачи, т. е. на величину пористости без молекулярной влагоемкости. Динамические запасы подземных вод Г. Н. Каменский выражал количеством воды, протекающим в единицу времени через данное поперечное сечение пласта, т. е. расходом потока. Он отмечал, что в общем водном балансе данного бассейна расход или естественные динамические запасы подземных вод соответствуют величине подземного стока или грунтовому питанию рек в данном участке.

Эксплуатационные ресурсы подземных вод Каменский выделял с точки зрения их добычи. Под ними понималось количество воды в единицу времени, которое может добываться из водоносного пласта на выделенном участке или на всем протяжении пласта в течение длительного периода времени без заметного изменения установившегося эксплуатационного режима подземных вод, т. е. без заметного снижения производительности эксплуатационных во-

дозаборов, без снижения динамических уровней подземных вод. И лишь в исключительных случаях определение эксплуатационных ресурсов может базироваться на интенсивном использовании подземных вод, при котором будет происходить истощение их вековых запасов с неизбежным при этом изменением их режима, сопровождаемым постепенным падением уровня. Исходя из изложенного, Каменский делал вывод: ресурсы подземных вод могут быть представлены или постоянной величиной производительности водоносного пласта, способной удержаться на данном уровне длительное время (практически постоянно), или временной, обеспечиваемой водоотдачей и вековыми запасами пласта на тот или иной ограниченный промежуток времени.

Важную роль в изучении ресурсов подземных вод ученый отводил гидрогеологическим съемкам, которые считал методом первоначальных поисков подземных вод. При съемках большое внимание уделялось изучению источников, являющихся поисковыми признаками на наличие подземных вод в геологических образованиях исследуемых районов. В связи с этим Каменский рассматривал закономерности выхода источников в различных геолого-гидрогеологических условиях. Он проанализировал данные по конкретным территориям в условиях спокойного залегания пород (Алексеевский район Воронежской области) и в условиях нарушения их залегания тектоникой (район южного окончания Доно-Медведицкой антиклинали на правом берегу Дона, где слои образуют куполовидное поднятие, южная часть Общего Сырта). В частности, Каменский указал, что в южной части Общего Сырта распределение источников определяется как тектоникой, осложненной соляными куполами и брахиантиклиналями, так и топографическими условиями местности. Вследствие этого на южном и северном склонах Общего Сырта на выходе источников оказывают влияние различное высотное положение и глубина дренирующих долин и балок.

Г. Н. Каменский оценивал пути составления гидрогеологических карт и проведения гидрогеологического районирования, играющих важную роль для решения вопросов изучения ресурсов подземных вод [32]. Ученый наметил следующие направления дальнейшего развития картографического изображения гидрогеологических условий: усложнение карт водоносности и дополнение их изолиниями, выражающими геоструктурные формы, глубину

залегания водоносных пластов, гидроизогипсы и изотермы, дающими глубину грунтовых вод и высоту напора артезианских вод; составление обобщающих гидрогеологических карт в виде, например, карт распространения водоносных горизонтов или карт, характеризующих водоносность распространенных в районе литологических комплексов или стратиграфических горизонтов; проведение гидрогеологического районирования, основанного, в частности, на выделении на исследуемой территории элементарных гидрогеологических районов.

Еще в 1931 г. в докладе на Первом Всесоюзном гидрогеологическом съезде Каменский говорил о гидрогеологическом типе как основной единице гидрогеологического районирования. Аналогично и здесь он выделял понятие об элементарном гидрогеологическом районе, применяемое при более или менее детальном исследовании. Оно характеризуется комплексом признаков: распределением водоносных пластов в толще горных пород, положением водоносных горизонтов по высоте и по отношению к элементам рельефа (долинам рек, водораздельным массивам), глубиной их залегания, расположением выходов подземных вод на поверхность, свойствами водоносных горизонтов в отношении химического состава и производительности.

Первичными факторами, формирующими перечисленные признаки, ученый считал геологическую структуру, состав пород, рельеф и климат. Конкретным значением этих факторов соответствует определенное выражение гидрогеологических условий, которое изменяется при смене факторов на исследуемой территории. В типичном проявлении получающийся в каждом случае комплекс признаков образует основную единицу детального гидрогеологического районирования. Для более широких территорий с тектоническими нарушениями в качестве основных единиц гидрогеологического районирования Каменский предложил выделять несущие воду структуры: тектонические впадины платформ и предгорных областей, синклинальные и дизъюнктивные структуры горных сооружений, межгорные впадины, лавовые покровы, межморенные, надморенные, водно-ледниковые и другие ледниковые образования, древние и современные долины, предгорные наклонные равнины и конуса выносов, межгорные низменности, междуречные массивы и т. д. В качестве примера ученый привел районирование территории

южной части Общего Сырта на основе выделения геологических структур (тектонических и геоморфологических).

Характеризуя применяемый исследователями принцип гидрогеологического районирования по геоструктурным единицам, Каменский отмечал, что он очень подходит к обзорному районированию больших территорий. Что же касается гидрогеологического районирования на основе анализа и оценки водоносности геологических структур по предлагаемым им типам геотектонических и геоморфологических структур, то оно может быть очень плодотворным и практически полезным для выявления гидрогеологических признаков геоструктур и особенно структур водообильных или богатых ценными типами минеральных вод и выделяемых как водные месторождения народнохозяйственного значения.

В своей работе о принципах гидрогеологического районирования СССР Г. Н. Каменский, основываясь на геоструктурных подразделениях, указал главные элементы гидрогеологического районирования СССР [56]. Это крупные артезианские бассейны, приуроченные к впадинам, выполненным толщами осадочных образований; поднятия платформенного типа (докембрийские выступы, массивы кристаллического докембрийского фундамента, валы, купола и другие поднятия), расчленяющие артезианские бассейны; складчатые области, содержащие различные по характеру водоносности гидрогеологические районы; артезианские бассейны (мелкие и средние) межгорных впадин внутри горноскладчатых областей. Перечисленные основные элементы гидрогеологического районирования обладают характерными особенностями в отношении формирования подземных вод и их регионального распределения, они важны для суждения о факторах накопления и распределения ресурсов подземных вод.

Увязывая гидрогеологическое районирование с тектоническими подразделениями, ученый наметил на территории СССР крупнейшие в гидрогеологическом отношении подразделения (регионы): русская платформа, зона альпийской складчатости юга СССР, Урало-Сибирская платформа, Восточная платформа, области мезозойской и альпийской складчатости Восточной Сибири и Дальнего Востока. В пределах каждого из регионов он выделил указанные выше основные элементы гидрогеологического районирования: артезианские бассейны платформ, кристаллические докембрийские массивы, складчатые обла-

сти и артезианские бассейны межгорных впадин. По этим результатам Каменский составил схематическую карту гидрогеологического районирования СССР (1948—1954 гг.).

Исследуя распределение ресурсов подземных вод в региональном аспекте, Г. Н. Каменский уделял большое внимание способам их определения как для грунтовых, так и для артезианских вод. Особенно его интересовали вопросы определения ресурсов подземных вод на стадии детальных гидрогеологических исследований. Ученый считал, что на этой стадии основными способами определения ресурсов подземных вод должны быть откачки. Он предлагал как наиболее употребительные: метод Тима, метод депрессионной воронки с определением полосы питания опытного колодца или группы колодцев, метод спаренных или групповых откачек с последующим определением взаимодействия скважин. Другие способы, например определение расхода на основании измерений скорости движения грунтовых вод с помощью индикаторов, оценка ресурсов по водному балансу, теоретический подсчет ресурсов вод по лабораторным определениям коэффициента фильтрации водоносных пород, Каменский рассматривал как вспомогательные, дополнительные к откачкам, а иногда и как контрольные.

Для определения расхода грунтового потока предпочитался метод Тима, при котором скважины (центральная и наблюдательные) закладываются по системе «тимовского треугольника». Из центральной скважины производится откачка, по результатам которой определяется коэффициент фильтрации и далее по формуле Дарси оценивается расход потока на всю его ширину или часть. В неоднородных пластах рекомендовалось закладывать ряд «тимовских треугольников» по простиранию потока. С целью сокращения числа опытных откачек и выбора наиболее целесообразных мест для заложения опытных систем (узлов) Каменский рекомендовал предварительно изучать неоднородности исследуемых песчаных водоносных толщ путем лабораторных определений коэффициента фильтрации песков в приборах Тима — Каменского или в полевом приборе «Трубка Каменского». О принципах действия этой трубки и расчетной зависимости для нее ученый докладывал еще Первому Всесоюзному гидрогеологическому съезду [8].

Как на довольно точный способ оценки расхода грунтового потока опытной откачкой Каменский указывал на использование построения депрессионной воронки для нахождения водораздельной точки (точка кульминации) и в последующем ширины полосы питания колодца и соответственного ей единичного расхода грунтового потока. Он подчеркивал, что определение ресурсов подземных вод в том случае, когда нельзя ориентироваться на величину естественного расхода грунтового потока, должно основываться на опытной откачке. Она выполняется в виде пробной эксплуатации грунтовых вод с дебитом, несколько меньшим проектного, а иногда приближающимся к нему довольно близко. В процессе откачки, для которой сооружаются обычно несколько опытных и наблюдательных скважин, выясняется вопрос о том, какая доля грунтового потока (или бассейна) захвачена опытным водозабором, оцениваются возможные эксплуатационные ресурсы исследуемого участка. Эту методику оценки эксплуатационных ресурсов Каменский предлагал применять для грунтовых потоков аллювиальных отложений, имеющих связь с реками, для трещинных и карстовых грунтовых вод с нечетко выраженными направлениями потоков, для грунтовых вод морских побережий, связанных с солеными морскими водами, и т. п.

Откачки по описываемой методике должны быть длительными (месяц или несколько месяцев). Систематически отбираются пробы воды для химического и бактериологических анализов, т. е. устанавливается наблюдение за качеством воды. Как весьма показательный пример ухудшения качества воды при эксплуатации Каменский привел данные по Мытищинской водозаборной системе. В то время там было отмечено резкое увеличение жесткости воды с 6—8° в начале эксплуатации до 20° и иногда до 28°, причиной чего явились торфяники, содержащие довольно значительные количества сернистых соединений. Г. Н. Каменский показал, как важно учитывать изменения общего гидрогеологического режима в районе водозаборов и, в частности, гидрохимического режима. Он обратил внимание на то, что при выяснении эксплуатационного режима следует учитывать возможность временной сработки статических запасов грунтовых вод в меженный засушливый период и их восстановление в последующий влажный период года, что имеет особенное значение в случае, если в питании грунтовых вод при эксплуатации

принимают участие реки или поверхностные водоемы, уровень которых в меженный период сильно снижается или которые промерзают зимой.

При оценке ресурсов грунтовых вод по балансу ученый считал главным определение их питания. Конечной целью исследований ставилась задача вычисления модуля или коэффициента подземного стока. Он может быть, в частности, определен по грунтовому питанию рек, по данным гидрометрических наблюдений в периоды отсутствия поверхностного стока атмосферных вод (зимой, летом в засушливое время), по «срезке» выступающих пиков паводковых расходов на графике их изменений во времени. Если гидрогеологические условия позволяют узнать площадь бассейна подземного стока, то модуль подземного стока рассчитывается как частное от деления грунтового питания реки на эту площадь. Каменский по литературным данным привел для конкретных крупных бассейнов (их частей) рек Оки, Волги, Днепра, Сожа, Одера, Роны и других значения средних модулей грунтового питания, величины которых колебались около 0,63—8,44 л/см².

Ученый указывал и на другой способ нахождения модуля и коэффициента подземного стока, основанный на изучении режима источников и на определении родникового стока. Этот способ был применен, в частности, в Донецком бассейне для источников, питающихся водоносными горизонтами в песчаниках верхнего карбона. В среднем для водоносных песчаников Донбасса коэффициент подземного стока исследователями был оценен в 0,25. Каменский разобрал конкретный пример определения ресурсов грунтовых вод по водному балансу для Мытищинского района. Величины модуля подземного стока были вычислены на основании измерения зимнего расхода рек, питающихся грунтовыми водами в данном районе.

Ученый считал полезным оценивать баланс грунтовых вод или, по крайней мере, коэффициент подземного стока по данным определения расхода грунтового потока посредством опытных откачек, контролируя таким образом расчет водных ресурсов по балансу. В этом случае определяется площадь питания грунтового потока, получают сведения об атмосферных осадках и коэффициент подземного стока вычисляется как частное от деления расхода потока, определенного откачкой, на суммарное количество атмосферных осадков, выпавших на площадь пита-

ния. Такой расчет Г. Н. Каменский выполнил с И. В. Гармоновым для бассейна р. Пехорки в районе г. Москвы, где во флювиогляциальных отложениях между реками Пехоркой и Купавенкой был определен расход грунтового потока $14\ 847\ \text{м}^3/\text{сут}$. При площади питания $80\ \text{км}^2$ и атмосферных осадках за год $504\ \text{мм}$ коэффициент подземного стока оказался равным $0,13$.

При оценке ресурсов артезианских вод основными гидрогеологическими факторами, определяющими производительность артезианского водоносного пласта, Каменский считал: мощность и водопроницаемость пласта, высоту напора, условия питания, расстояния мест водозабора от областей питания и дренирования [33]. Он отмечал большое влияние на производительность артезианского пласта наличия «окон» в его кровле, через которые привлекается дополнительный приток воды из лежащих выше водоносных горизонтов и из поверхностных водоемов.

Для определения ресурсов артезианских вод, по мнению Каменского, наиболее конкретные данные дает опытная откачка из артезианской скважины в виде опытной эксплуатации с исследованием производительности и взаимодействия скважин. При откачке могут привлекаться дополнительные водные ресурсы из других водоносных горизонтов и из грунтовых вод; это принимается во внимание при расчетах. Откачка проводится из спаренных скважин или группы скважин сначала поодиночке, а затем совместно, отмечаются понижения уровня воды в центральных и так называемые «срезки» уровня в наблюдательных скважинах, полученные данные подвергаются математической обработке в целях определения кривой дебита для каждой скважины и расчета их взаимодействия. Результаты этих расчетов служат основой для оценки числа скважин, которые можно заложить на исследуемом участке артезианского бассейна, и их суммарного дебита при учете взаимодействия скважин, принимаемого в данном случае за количественное выражение эксплуатационных ресурсов артезианских вод. Взаимодействие артезианских скважин Каменский рекомендовал вычислять по известным теоретическим формулам (Слихтера, Форхеймера) или приближенным гидравлическим методом, например методом «срезок», предложенным М. Е. Альтовским.

При определении эксплуатационных ресурсов артезианских вод в пунктах, где уже имеются артезианские

скважины, взаимодействующие между собой и создающие районную депрессию пьезометрического уровня, оцениваются дополнительные ресурсы вод, которые можно извлечь из данного пласта путем заложения новых скважин или путем более интенсивной эксплуатации существующих. Для оценок дополнительных ресурсов артезианских вод на основании имеющихся наблюдений за ряд лет устанавливается зависимость между понижением в центре районной депрессии и суммарным дебитом всей системы. По значениям дебита и понижения за разные годы определяется приращение дебита на один метр понижения, что соответствует удельному дебиту. Для определения возможного дополнительного отбора воды принимается, что при дальнейшем возрастании дебита всей группы скважин удельный дебит сохраняется постоянным, что равносильно допущению пропорциональности понижения в центре районной депрессии общему дебиту скважин. В качестве примера использования этого метода Каменский привел результаты развития снижения пьезометрического уровня и роста дебита при эксплуатации сеноманского водоносного горизонта в Киеве.

Г. Н. Каменский исследовал вопросы поисков и разведки подземных вод в условиях вечной мерзлоты. Трудные условия водоснабжения в этой зоне, создаваемые промерзаемостью рек и неглубоких грунтовых вод деятельного слоя, требуют при выборе источника водоснабжения учета наряду с подземными водами и других водных ресурсов: рек, озер, атмосферных вод, воды в виде льда современного (наледи) и ископаемого (в толще вечной мерзлоты). Наиболее надежным источником водоснабжения в зоне вечной мерзлоты как по качеству воды, так и по постоянству дебита ученый считал подмерзлотные и межмерзлотные воды. Они могут использоваться в виде источников, выходящих на поверхность или извлекаемых буровыми скважинами и колодцами. Для определения производительности подмерзлотных вод Каменский рекомендовал те же методы, что и для обычных артезианских или неглубоких напорных вод.

Из надмерзлотных вод для водоснабжения существенное значение могут иметь подрусловые потоки, заключенные в мощных аллювиальных отложениях, обычно не промерзающих полностью в течение зимы. Определение максимальной производительности надмерзлотных вод производится опытными откачками с оценкой взаимодей-

ствия скважин летом, в период наибольшего оттаивания. Определение минимальных ресурсов надмерзлотных вод осуществляется в период наибольшего промерзания в конце зимы.

В исследованиях по поискам и разведке подземных вод, по определению их ресурсов Г. Н. Каменский касался основных гидрогеологических данных и требований для обоснования зон санитарной охраны источников водоснабжения. Он, в частности, указывал, что гидрогеологическое обоснование поясов зоны охраны составляется по материалам детальных исследований, проведенных для определения ресурсов подземных вод, и оформляется в виде записки к проекту охранной зоны. При недостаточности материалов ставятся специальные исследования, как съемочные, так и разведочные. Особое внимание должно быть уделено площади питания.

Инженерная геология

Принимая непосредственное участие в крупном гидротехническом строительстве страны, Г. Н. Каменский должен был заниматься и вопросами инженерной геологии. Их исследование он начал с определения и систематизации понятий. В докладе, прочитанном в 1935 г. и опубликованном в 1936 г. в известиях АН СССР, ученый дал точную, ясную и развернутую формулировку задач инженерной геологии как науки [18]. Г. Н. Каменский констатировал, что инженерная геология в то время служила целям инженерного строительства и считалась прикладной дисциплиной, а не специальной отраслью геологии как науки. Отсутствие вполне оформленной научно-теоретической основы инженерной геологии, несомненно, отрицательно отражалось на практических инженерно-геологических работах.

Инженерная геология как наука, призванная служить целям инженерного и строительного дела, по мнению ученого, должна иметь своей основой и конечной задачей выяснение и изучение тех геологических явлений, которые могут возникнуть на месте возведения сооружений и оказать на сооружения и на условия производства работ по их строительству те или иные существенные влияния. По существу, все виды инженерно-геологических работ ведутся для разрешения этой основной задачи.

Геологические явления, которые возникают или могут получить дальнейшее развитие под влиянием инженерных сооружений, следует назвать в отличие от природных геологических явлений инженерно-геологическими. Сюда относятся: осадки и деформация пород под действием нагрузки от всевозможных сооружений; просадки лессовидных пород под влиянием увлажнения и нагрузок; оползневые явления; деформации под влиянием выщелачивания и вымывания минеральных частиц из толщи горных пород, карстовые явления, суффозия, фильтрационные деформации; явления пльвунов; деформация под влиянием мерзлоты, пучины; деформация массивов горных пород под влиянием горного давления; явление смещений и деформаций плотных (скальных) пород при воздействии на них искусственных сооружений; размыв берегов водохранилищ и вообще процессы формирования берегов под действием новых условий, сложившихся при подпоре вод сооружениями; явления выветривания и другие физико-химические процессы в горных породах, развивающиеся при строительстве и под воздействием существующих сооружений.

Приведенный перечень неполон, но он достаточно определяет комплекс явлений и процессов, которые должны составить предмет инженерной геологии как науки. Круг изучаемых явлений, естественно, сейчас же расширится, как только изучение их будет поставлено на научную основу. Прежде всего инженерная геология должна будет дополнительно включить в предмет своего изучения аналогичные природные явления, например процессы сжатия и разбухания толщ горных пород, происходящие в природе от изменения естественных нагрузок в разные геологические эпохи; природные оползневые явления, просадки, карстовые процессы; природные явления вечной мерзлоты.

Развивая определение содержания науки инженерной геологии, ученый дал следующие конкретные формулировки ее задач. Прямая задача инженерной геологии как науки об инженерно-геологических процессах, непосредственное изучение этих процессов на существующих строениях и сооружениях, т. е. изучение геологических явлений, вызванных сооружениями или развивающихся под их влиянием. Изучение подобных процессов — такая же прямая задача инженерной геологии, как задача геологии — изучение природных геологических процессов.

Другая основная задача инженерной геологии — прогноз инженерно-геологических явлений, которые могут возникнуть при возведении инженерного сооружения как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации и оказать влияние на сооружения или на условия их строительства. Выполнение этой задачи обеспечивает основную целевую установку инженерно-геологической науки — служить инженерному строительству.

Третья задача вытекает как следствие из поставленных первых двух. Для их решения требуется изучение природных условий с точки зрения развития инженерно-геологических процессов: изучение физической и физико-химической природы и режима горных пород, а также естественных физико-геологических процессов, которые должны как-то суммироваться или взаимодействовать с инженерно-геологическими процессами. Для этих целей необходимо исследовать горные породы и геологические явления не только в их состоянии на данный момент, но и в историческом развитии.

Наконец, следует выделить еще одну задачу — изучение роли региональных факторов (геологическое строение различных районов, климат и др.) в проявлении инженерно-геологических процессов. Сюда относятся вопросы зональности в области рассматриваемых явлений, входящие в региональную инженерную геологию.

Каждая наука определяется не только объектами исследования, но и методами, которыми она пользуется для выполнения поставленных перед ней задач. Инженерная геология как наука, изучающая геологические явления, хотя и вызванные или осложненные искусственными сооружениями, должна прежде всего пользоваться геологическим методом и вообще методами естественно-исторического исследования. Это ставит инженерную геологию в ряд геологических наук.

Но одного геологического метода недостаточно для выполнения намеченных выше задач инженерно-геологической науки, например для изучения и прогноза инженерно-геологических явлений с количественной технической оценкой их влияния на сооружения. Подобные задачи создают необходимость полного освоения инженерной геологией теоретических выводов механики и физики грунтов и установления условий применения их к изучению инженерно-геологических явлений. Следовательно, нужно прибегнуть к математическому методу, который до сих

пор как средство научного исследования мало применялся в инженерной геологии и в геологии вообще. Огромную роль в инженерной геологии играет и экспериментальный метод, применение которого к изучению инженерно-геологических явлений требует также математического анализа, без него эксперименты не могут дать достаточно широких обобщений [18].

Г. Н. Каменский отмечал, что его формулировка предмета инженерной геологии как науки не претендует на полноту и завершенность и в некоторых отношениях, может быть, является дискуссионной. Конечно, в настоящее время понятие об инженерно-геологических явлениях или процессах стало более широким, однако ученый дал им практически и теоретически важное определение. Использование этого определения и понимание в соответствии с ним инженерной геологии открывали перед советской наукой перспективы стройного развития теоретической, методологической и экспериментальной базы.

Исследуя сущность инженерной геологии как науки, ученый рассмотрел ее взаимоотношение с другими смежными науками: геологией, гидрогеологией, грунтоведением, механикой грунтов, физикой грунтов и др. Здесь следует привести интересное высказывание Каменского:

«Очень важно поставить вопрос о коллективной работе. Мы стремимся очертить рамки какой-либо отдельной дисциплины, выделить отдельно грунтоведение, инженерную геологию, механику грунтов. Но перед нами задачи не грунтоведения, не инженерной геологии, не механики грунтов, а задачи практики, вообще комплексная задача. Когда мы занимаемся наукой, то часто изолируемся. Но когда мы подходим к крупному строительному объекту, то мы все там соединяемся. Так нужно объединиться и в развитии науки. Считаю, что в нашей науке еще не создана настоящая советская форма коллективной работы. Надо вообще подумать над созданием форм истинно советского коллективизма в нашей научной и практической работе» [18, с. 223].

Методика гидрогеологических исследований

Вопросами методики гидрогеологических исследований Г. Н. Каменский занимался на протяжении значительной части своей научно-педагогической деятельности. Так,

еще в 1924 г. для инструкции по производству гидрогеологических работ Каменский подготовил главу о пользовании капельницами для приближенного количественного определения растворенных в воде веществ, основанном на том, что объем одной капли для данного раствора и данной капельницы является постоянным при одинаковых условиях пользования. Например, одному кубическому сантиметру воды в среднем соответствуют 15 капель, падающих с носика капельницы. Следовательно, капельница с некоторым приближением может заменить бюретку для применения титрованных растворов. Для большей уверенности в надежности результатов анализа следует каждую капельницу с тем или иным реактивом проверить: отсчитать в мензурку 100 или более капель и измерить таким образом их суммарный объем. Следует строго следить, чтобы капли падали только с носика, для чего необходимо прировняться к капельнице.

Из количественных определений наиболее важными для полевого анализа и ставшими возможными благодаря предложенной Каменским методике использования капельниц является определение хлора и жесткости. Кроме того, с помощью капельниц осуществимы качественные определения серноокислых соединений и аммиака реактивом Несслера.

Позднее, в 1931 г., на Первом Всесоюзном гидрогеологическом съезде в Ленинграде Каменский сделал несколько докладов, содержащих ценные предложения по разработке методики гидрогеологических исследований. Краткое их изложение было приведено выше, здесь же мы подробнее рассмотрим основные методические положения этих работ.

Опытные откачки при надлежащей постановке опытов и наблюдений дают обычно точные результаты для подсчета коэффициента фильтрации. Но нередки случаи, когда данные откачек с трудом поддаются математической обработке и, несмотря на правильность наблюдений, приводят к большим неувязкам. Причиной подобного расхождения в подсчетах является прежде всего асимметричность депрессионной воронки, которая может образоваться при существовании естественной скорости движения грунтовых вод, а также при неоднородности строения водоносного пласта и непостоянства его мощности. Так, это может произойти в условиях значительного естественного уклона грунтового потока или наличия поблизости

поверхностного водоема, питающего грунтовый поток с одной стороны при достаточном снижении уровня воды во время откачки. Г. Н. Каменский и Г. В. Богомолов предложили новый метод подсчета среднего коэффициента фильтрации при асимметричной воронке. Он основан на закладке большого числа наблюдательных скважин, расположенных не по одному произвольно взятому направлению, а по нескольким лучам, и позволяет учитывать одновременно все лучи наблюдательных скважин [7, 15].

Г. Н. Каменский рассмотрел опытно-лабораторные методы определения коэффициента фильтрации для различного состава пород. Им детально описана конструкция и способ применения нового прибора Тима — Каменского, пригодного для определения водопроницаемости песчаных образцов без сохранения структуры образцов, взятых режущими цилиндрами, и монолитов. Одно из главных достоинств прибора — возможность изменения напоров в больших пределах [13].

В одном из докладов ученый отметил, что с увеличением фронта социалистического строительства особое значение приобретает изучение гидрогеологии СССР [10]. В связи с этим большое развитие должны получить различные виды гидрогеологических съемок. Систематизация подобного материала и приведение его в состояние, соответствующее максимальному его использованию для практики, — одна из важнейших задач гидрогеологии.

Для ее осуществления необходимо развить новые методы гидрогеологических исследований: гидрогеологическое районирование, изучение гидрогеологических бассейнов. В числе таких методов Г. Н. Каменский выдвигает методику гидрогеологического районирования на основе изучения «гидрогеологических типов». Последнее понятие складывается из некоторого комплекса признаков и явлений, определяющих гидрогеологические условия данной местности: распределение водоносных пластов в толщах пород, слагающих местность; положение водоносных горизонтов по высоте и его отношение к элементам рельефа; глубина их залегания; выходы подземных вод на поверхность и распределение выходов по рельефу; свойства водоносных горизонтов по отношению к составу и водопроницаемости водосодержащих пород и к составу самих вод.

Каменский подчеркнул, что основными первичными

факторами, определяющими развитие всех перечисленных выше гидрогеологических признаков, являются гидрогеологическое строение, рельеф и климат. Если будут изменяться эти факторы, то изменятся и соответствующие им гидрогеологические условия. В целом они составляют то, что ученый назвал «гидрогеологическим типом».

Г. Н. Каменский совместно с И. В. Гармоновым разработали методику составления карты водопроницаемости и динамических запасов грунтовых вод в Пехорско-Купавинском районе близ г. Москвы. Карты были составлены по данным исследований, проведенных для изучения подземных вод указанного района с целью водоснабжения столицы. Им и посвящен еще один доклад, прочитанный на съезде [11].

В изучаемом районе ввиду малого количества откачек пришлось использовать данные разведочного бурения. Для послышного лабораторного испытания водопроницаемости водоносных песков исследовали получаемые при бурении образцы. По формуле Г. Н. Каменского вычислили средние коэффициенты фильтрации и нанесли их на карту. По методу построения изолиний на ней выделили площади с различными грациями величин водопроницаемости. В результате была получена карта водопроницаемости исследуемого района (рис. 4).

Для построения карты динамических запасов грунтовых вод сначала составили карту гидроизогипс. Затем для каждой скважины, в которой была известна мощность водоносного пласта четвертичных песков, залегающих на неровной поверхности юрских глин, вычислили значения единичного расхода грунтового потока. Величина единичного расхода была принята как количественное выражение «динамических запасов» грунтовых вод в данном пункте. По нанесенным на карту значениям единичного расхода составили методом изолиний карту динамических запасов грунтовых вод с грациями величин единичного расхода: 0—0,2; 0,2—0,4; 0,4—0,6; 0,6—0,8 и более 0,8 м³/сут (рис. 5).

Карты динамических запасов позволяют конкретно выявлять изменение количества подземных вод в различных участках неоднородного пласта или комплекса пластов. Такие карты указывают, насколько важно учитывать неоднородность пластов при оценке запасов подземных вод и при выборе мест для заложения водосборных сооружений.

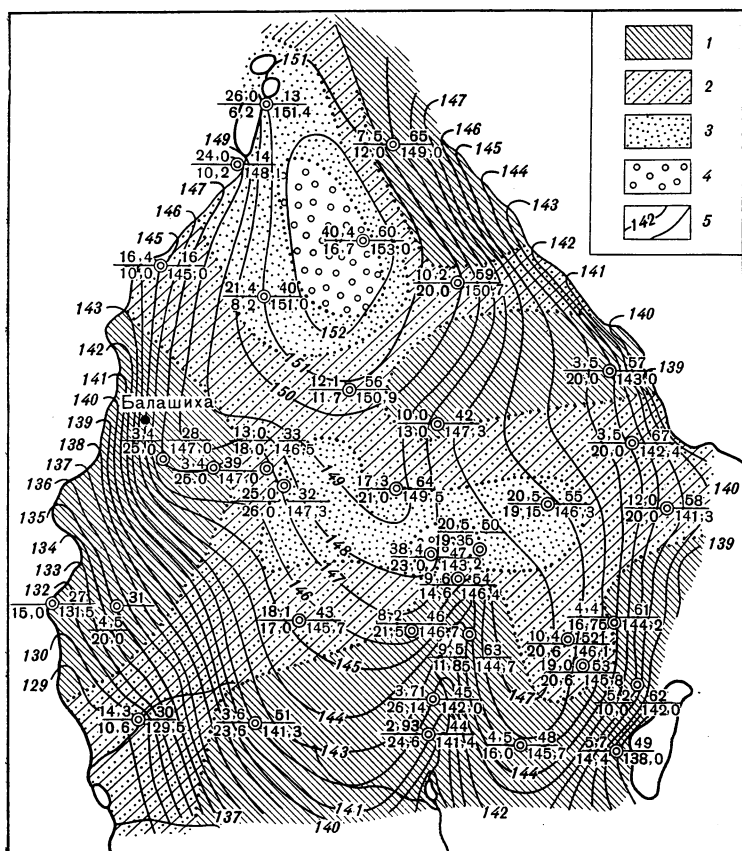


Рис. 4. Карта водопроницаемости, составленная Г. Н. Каменским и П. В. Гармоновым

Площади со средним коэффициентом фильтрации водоносной толщи, м/сут: I — 3—10; II — 10—20; III — 20—30; IV — 30—40; V — линии гидроизогипс, проведенные через 1 м. Цифры у скважин: слева сверху — средний коэффициент фильтрации водоносной толщи, слева внизу — мощность водопроницающей толщи, справа сверху — номер скважины, справа внизу — абсолютная отметка уровня грунтовых вод

Вопросы методики изучения подземных вод нашли широкое развитие в упоминавшемся выше труде Каменского «Поиски и разведка подземных вод» [34]. В предисловии автор отмечал, что в процессе чтения лекций и при составлении учебника возникли трудные задачи, которые

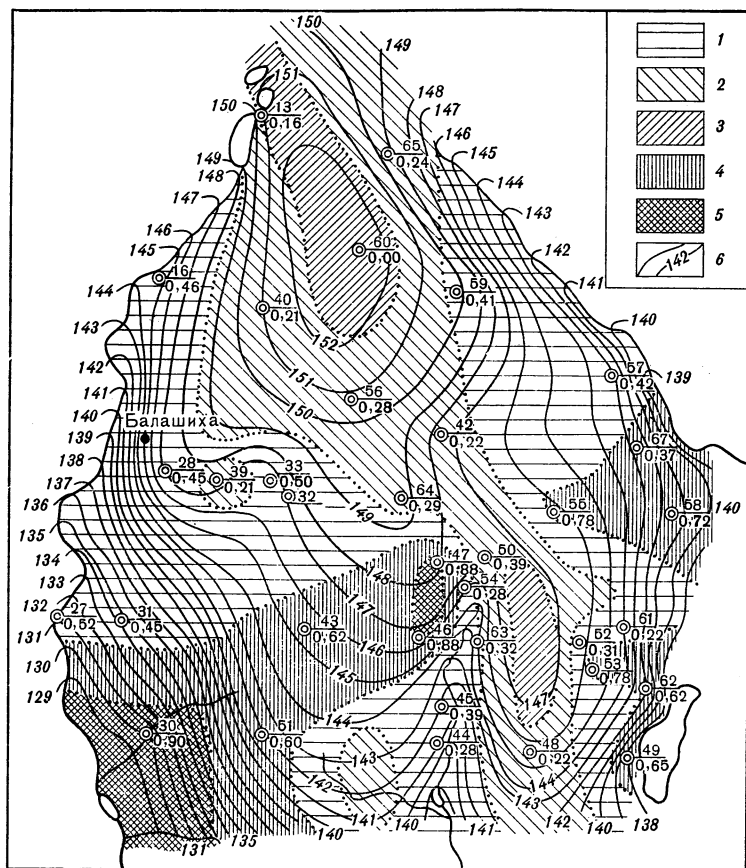


Рис. 5. Карта динамических запасов грунтовых вод, составленная Г. Н. Каменским и И. В. Гармоновым

Площади с единичным расходом, м³/сут на 1 м ширины потока: I — 0,00—0,20; II — 0,20—0,40; III — 0,20—0,60; IV — 0,60—0,80; V — больше 80; VI — линии гидроизогипс, проведенные через 10 м. Цифры у скважин: вверху—номер скважины, внизу—единичный расход

осложнялись слабой разработанностью методики гидрогеологических исследований. Каменский обратился к изучению вопросов методики, и в результате этой работы в его труде появились не только систематическое изложение уже установившихся принципов методики гидрогеологических поисков и разведок и решения различных

Таблица 1

| Формы залегания водоносных пород | Типы подземных вод |
|---|---|
| Тектонические впадины платформ и предгорных областей | Крупные артезианские бассейны с восходящими источниками в краевых зонах и местах дизъюнктивных дислокаций |
| Синклинальные и дизъюнктивные структуры горных сооружений | Малые и средние артезианские бассейны, трещинные воды глубокой циркуляции, восходящие источники |
| Лавовые покровы (массивы трещиноватых пористых андезитобазальтов) | Обильные грунтовые потоки, мощные источники |
| Межморенные, надморенные, флювиогляциальные и другие образования ледниковых отложений | Грунтовые и межпластовые напорные воды |
| Древние и современные долины, выполненные аллювиальными и галечными отложениями: | Потоки безнапорных грунтовых вод, реке — напорные воды |
| а) пойменные и древнеаллювиальные террасы равнинных и горных рек; | |
| б) межгорные древние долины | |
| Предгорные наклонные равнины и конуса выносов | Грунтовые и артезианские воды, источники |
| Межгорные низменности | Бассейны грунтовых и напорных вод с грунтовыми потоками и источниками в периферической части низменности |
| Междуречные массивы: | Грунтовые воды и нисходящие источники |
| а) осадочные толщи с чередованием проницаемых водоносных и непроницаемых пластов; | |
| б) закарстованные породы; | |
| в) трещиноватые породы | |

задач практической гидрогеологии, но и в ряде случаев новые элементы этой методики. Так, ученый исследовал зависимость типов проявления водоносности от формы залегания и геологической структуры вмещающих воду пород (табл. 1).

Особенно значительные разработки ученый выполнил при оценке ресурсов подземных вод, рассматривая в основном методику гидрогеологических исследований для целей водоснабжения [35, 43]. Он установил факторы, определяющие объем, характер и этапы этих гидрогеологических исследований. Для оценки степени изученности и точности определения ресурсов подземных вод в институте ВСЕГИНГЕО под руководством Г. Н. Каменского была разработана классификация, по которой ресурсы разде-

Таблица 2

| Категория ресурсов | Разведанность и изученность | Практическое значение данной категории ресурсов |
|--------------------|---|---|
| C ₂ | Ресурсы подземных вод как по количеству, так и по качеству оценены по геологическим и гидрогеологическим предпосылкам | Планирование гидрогеологических исследований. Обоснование бурения разведочных скважин на воду |
| C ₁ | <p>а) Ресурсы определены по общим гидрогеологическим исследованиям в районе водозаборов на основании изучения естественных обнажений и редких выходов подземных вод (источники, колодцы, скважины)</p> <p>б) Предполагаемые ресурсы подземных вод в районе намечаемых водозаборов оценены по аналогии с участками того же водоносного горизонта, где ресурсы разведаны по более высоким категориям</p> <p>в) Ресурсы, слабо разведанные на участке водозаборов в условиях сложного и пестрого распределения подземных вод как по количеству, так и по степени минерализации, а также при неустойчивом режиме. Качество воды определено по аналогии с соседними районами, по единичным анализам или путем опробования на вкус. В условиях сложного и пестрого распределения подземных вод анализы воды на участке водозаборов обязательны</p> | <p>Планирование и составление программ гидрогеологических исследований. Обоснование бурения опытно-разведочных и, в отдельных случаях, разведочно-эксплуатационных скважин на воду</p> <p>Обоснование перспективных планов размещения промышленных предприятий и населенных пунктов</p> <p>Обоснование гипотезы использования подземных вод для водоснабжения</p> |
| B | <p>а) Ресурсы подземных вод определены приблизительно на основании общих гидрогеологических исследований, производились единичные опытно-разведочные выработки и кратковременные откочки в районе намечаемых водозаборов</p> <p>б) Ресурсы подземных вод определены в случае простого гидрогеологического строения (например, хорошо выдержанный и изученный артезианский горизонт) по аналогии с находящимися за пределами данного района участками, где хорошо изучены ресурсы более высокой категории (A₁ и A₂)</p> <p>Режим подземных вод выявлен недостаточно: колебание уровней подземных вод и расходов источников определено приблизительно по единичным замерам и гидрогеологическим соображениям. Ресурсы подземных вод охарактеризованы путем сравнения различных горизонтов в районе, а также путем сравнения с поверхностными водами</p> | <p>Сравнение и выбор источника водоснабжения</p> <p>Выбор участков водозаборов и составление проектного задания</p> <p>Обоснование технического проекта, если ресурсы подземных вод явно превышают потребность</p> <p>Проектирование детальных изысканий</p> <p>Обоснование заложения разведочно-эксплуатационных и отдельных эксплуатационных скважин</p> |

Таблица 2 (окончание)

| Категория | Разведанность и изученность | Практическое значение для стадий работ |
|----------------|---|---|
| A ₂ | <p>Качество воды определено по сокращенным анализам или по единичным полным анализам, а также с учетом гидрогеологических и санитарных условий для мест намечаемых водозаборов</p> <p>Ресурсы подземных вод установлены на основании детальных гидрогеологических исследований с производством опытных откачек (в частности, для неглубоких вод с заложением опытных систем) на участке проектируемых водозаборов.</p> <p>Уровни подземных вод на участке водозаборов и расходы источников определены по данным годовичных наблюдений. Качество воды определено по полным химическим и бактериологическим анализам проб, взятых на участке водозаборов, а также на основании санитарного обследования</p> | <p>Обоснование и составление технических проектов водоснабжения и заложения эксплуатационных каптажей и групп взаимодействующих скважин и колодцев</p> |
| A ₁ | <p>а) Ресурсы подземных вод вполне изучены и проверены путем детальных исследований с производством длительных опытных или эксплуатационных откачек на участке водозаборов и с постановкой стационарных наблюдений продолжительностью не менее 3-х лет</p> <p>б) Ресурсы установлены путем анализа эксплуатационных данных с целью расширить использование водоносного горизонта</p> <p>Оценка качества воды и изменение ее состава определена путем систематических наблюдений в течение 2—3 лет, с производством повторных химических и бактериологических анализов</p> | <p>Обоснование и планирование текущей эксплуатации водозаборов</p> <p>Составление проекта расширения водозаборов</p> <p>Для составления технических и рабочих проектов водоснабжения в сложных гидрологических условиях</p> |

Примечание. Высокая категория должна включать данные по разведанности и изученности более низкой категории.

ляются на три основные категории в зависимости от степени изученности. Позже с некоторыми добавлениями она была принята Государственной комиссией по запасам подземных ископаемых как официальный документ при утверждении запасов месторождений подземных вод (табл. 2).

Принципы установления объема и содержания исследований для выявления ресурсов подземных вод, определения их качества и количества базируются на ряде фак-

Таблица 3

| Типы режима и характеристика природных условий | Возможные изменения гидрохимического режима при орошении |
|---|--|
| <p>I. Дренированные участки с хорошо выраженным подземным и поверхностным стоком. Развиты процессы рассоления</p> | <p>Увеличение подземного стока. Выщелачивание почв и грунтов. Рассоление. Орошение возможно при нормировании поливов с учетом местных условий</p> |
| <p>II. Бессточные участки разливов и больших лиманов, питаемые наряду с атмосферными осадками водами поверхностного стока. Подземный сток отсутствует или слабо развит. Интенсивное испарение. Преобладание засоления</p> | <p>Подъем грунтовых вод и увеличение расхода на испарение. Накопление солей в грунтах и почвах. Вторичное засоление. Орошение местами возможно лишь при искусственном дренаже с предварительной промывкой почв</p> |
| <p>III. Недренированные равнины, участки комплексной степи, песчано-барханные площади. Равновесие атмосферного питания и испарения. Сток подземный и поверхностный, слабо и неравномерно развит. Сочетание участков засоления и рассоления.</p> | <p>Подъем грунтовых вод на участках с высокоминерализованными грунтовыми водами. Возможно вторичное орошение при нормировании поливов и искусственном дренаже</p> |

торов как естественноисторических, так и хозяйственно-экономических и технических. Прежде всего объем и характер исследований зависят от природных гидрогеологических условий, определяющих тип водоносности, глубину залегания водоносных горизонтов и режим подземных вод. С этой точки зрения Каменский выделил три основных типа подземных вод: выходы подземных вод в виде источников или родников, используемые для устройства того или иного каптажа, изучаемые неглубокими разведками в месте выхода источников и общим исследованием в области их питания; грунтовые и неглубокие напорные воды, используемые шахтными колодцами или неглубокими буровыми скважинами, исследуемые главным образом посредством неглубокого разведочного бурения или опытных откачек, а также гидрогеологическими съемками; артезианские воды, используемые более или менее глубокими буровыми скважинами, исследуемые глубокими разведочными скважинами и требующие знания геологического строения широких площадей артезианских бассейнов.

Каменский подробно рассмотрел необходимые исследования и расчеты по каждой из перечисленных групп во-

доисточников. Он дал также оценку качества подземных вод, употребляемых для различных целей. Ученый подробно описал особенности гидрогеологических исследований источников водоснабжения в условиях вечной мерзлоты, проанализировал характеристики типов вод в зоне вечной мерзлоты и выбор источников водоснабжения.

Объем и характер гидрогеологических работ по исследованию источников водоснабжения должны соответствовать количеству потребляемой воды, что составляет один из принципов исследования подземных вод для их использования. В связи с этим важно учитывать не только необходимое сегодня потребление водных ресурсов, но и возможные изменения режима подземных вод при их использовании. Исследуя, например, территорию Прикаспийской низменности, ученый обращал особое внимание на составление прогнозов изменения этого режима при орошении этих земель (табл. 3).

Рациональное использование водных ресурсов имеет большое народнохозяйственное значение.

Формирование подземных вод

Исследование процессов формирования подземных вод, как справедливо считал Г. Н. Каменский, совершенно необходимо для обоснования гидрогеологических поисков и разведок и решения многих других вопросов гидрогеологии. Это важное направление в многосторонней и многогранной деятельности ученого получило отражение в ряде его известных трудов и статей, написанных большей частью в последние годы жизни [34, 39, 41, 53, 58, 60].

Проблема формирования подземных вод как весьма актуальная для гидрогеологической науки была сформулирована и поставлена академиком Ф. П. Саваренским. Он считал ее разработку основной задачей Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. В трудах лаборатории подчеркивалось, что проблема формирования подземных вод «решает многие вопросы их генезиса, условий их метаморфизации, динамики, геологической деятельности и способствует решению практических вопросов по использованию подземных вод и борьбе с их вредным влиянием» [41, с. 81].

Г. Н. Каменский дал четкое обоснование и осуществил научную разработку учения о формировании подземных вод — их генетических циклах и генетических типах [60]. Анализируя современные ему представления по этим вопросам, ученый писал: «Процессы формирования подземных вод протекают в различных сочетаниях и последовательностях в зависимости от геологической истории, структуры и физико-географической обстановки данного участка земной коры. При всем разнообразии этих процессов мы можем наметить типичные их сочетания и последовательность (генетические циклы), которые в определенной геологической обстановке приводят к образованию генетических типов вод, обладающих характерными чертами химического состава и режима... Характерные сочетания и последовательность процессов формирования подземных вод обуславливаются прежде всего различными основными источниками образования подземных вод» [60, с. 8].

Основными источниками, как отметил Г. Н. Каменский, являются: инфильтрационные воды атмосферного происхождения, а также конденсационные воды; воды древних морей, лагун и других водоемов, покрывающих в прошлом участки современной суши, накапливающиеся в толщах пород в процессе осадкообразования на дне бассейнов или непосредственно фильтрующие в проницаемые породы берегов и дна водоемов; воды, возникающие на участках магматической деятельности при охлаждении магмы и при метаморфизме горных пород; воды, образующиеся в процессе разложения органического вещества, при дегидратации минералов и т. п.

В зависимости от характера и последовательности генетических процессов можно различать подземные воды относительно «однородного» генезиса, когда в их образовании участвуют одного рода первоисточники воды. Таковы, например, грунтовые и артезианские воды, образующиеся в результате инфильтрации атмосферных осадков.

«Подземные воды более сложного генезиса образуются, когда в одной и той же структуре, по ходу геологической истории, сменяются воды различного происхождения и намечается как бы несколько стадий гидрогеологического развития содержащих воду структур» [60, с. 9].

Процессы формирования подземных вод в осадочных отложениях

Исходя из правильных историко-геологических и диалектических положений, Каменский верно оценил возможность существования подземных вод морского происхождения, относя их к общему генетическому циклу — морскому и осадочному. Ученый выделил основное в стадиях их формирования: «Вода в морских осадках впервые возникает в процессе их отложения (в виде так называемой седиментационной воды), затем она подвергается вместе с осадками воздействию диагенеза, в результате которого осадки превращаются в осадочные породы, а иловые или седиментационные воды — в подземные воды. После отступления моря на освободившихся участках суши возникают инфильтрационные процессы; при этом происходит замещение первоначально образовавшейся воды морского происхождения пресной инфильтрационной водой и частично смешение с нею. В ходе геологической истории данного участка суши это замещение может достигнуть различных стадий, затем снова может возникать трансгрессия моря, и в пласты, куда проникли пресные инфильтрационные воды, могут снова внедряться воды морских бассейнов, надвинувшихся на сушу. Наконец, суша опять освобождается от моря и опять начинается новый цикл инфильтрационных процессов, ведущих к замещению более древних вод, эта смена генетических циклов связана со сложным комплексом гидрогеохимических процессов, протекающих в соответствующих сочетаниях и последовательностях».

По мнению Каменского, рассмотрение отдельных этапов формирования подземных вод в морских осадках вызывает большие трудности, так как многие стороны этой проблемы еще мало освещены, например вопросы о составе вод древних морских бассейнов, покрывавших в прошлом участки современной суши, об изменениях (метаморфизации) морских вод в осадках в процессе их диагенеза и эпигенеза; о формах миграции вод и солей в породах» [60, с. 10]. Ученый предупредил, что нельзя пренебрегать первым этапом формирования вод, относящимся к периоду морских трансгрессий, подчеркивая, что основное значение в формировании и распределении вод различного химического состава в осадочных толщах имеет историче-

ская последовательность процессов, результатом которой «является смена генетических циклов, происходящая в ходе геологического развития несущих воду структур» [53, с. 69].

Критически изучив труды академиков А. П. Виноградова и Н. М. Страхова, экспериментальные работы А. Н. Бунеева и Н. В. Тагеевой, Г. Н. Каменский счел возможным прийти к следующим выводам [34, 53, 60]. Морские воды участвуют в образовании подземных, насыщая морские осадки в процессе их отложения и проникая в более глубокие слои проницаемых пород. Будучи захороненными последующими непроницаемыми отложениями, эти воды сохраняются в глубоких закрытых пластах в течение длительного геологического времени. Судя по фациальному типу осадочных горных пород и палеогеографическим условиям, воды морских бассейнов имели разнообразный состав. Нормальная соленость морской воды принимается равной 3,5%. Воды бассейнов другого рода (лагуны и так называемые эпиконтинентальные моря, связь которых с океаном в той или иной степени нарушена или совсем закрыта) имеют иной состав, они могут быть или опресненными, или вследствие усыхания бассейнов еще более концентрированными.

В результате повышения концентрации воды под влиянием испарения и метаморфизации ее в лагунах формируются высококонцентрированные остаточные рассолы с исключительным преобладанием хлоридов натрия и нередким присутствием хлористого кальция. Концентрация Br^- по отношению к Cl^- в воде является весьма характерной величиной. В нормальной морской воде коэффициент $\text{Cl}^-/\text{Br}^- = 233$. Этот коэффициент приобретает значение генетического признака для морской воды, позволяющего распознавать связь последней с подземной водой.

Среди путей формирования седиментационных вод в морских осадочных толщах Каменский выделял следующие: формирование подземных вод путем непосредственного проникновения вод морских и других водоемов в горные породы; метаморфизация вод в осадочных породах в процессе эпигенеза; формирование вод артезианских бассейнов в процессе замещения древних соленых вод инфильтрационными водами атмосферного происхождения; физико-химическое изменение морских вод, захваченных илами при их диагенезе [60].

Рассмотрим подробнее некоторые из них.

Формирование подземных вод путем непосредственного проникновения вод морских и других водоемов в горные породы. Высокоминерализованные рассольные воды осолоненных лагун как наиболее тяжелые (удельный вес до 1,20 и более), проникая в породы, вытесняют не только пресные, но и соленые воды, образовавшиеся здесь ранее. Вместе с тем, тяжелые рассольные подземные воды лучше сохраняются в глубоких пластах благодаря именно высокому удельному весу. В результате проникновения морской воды, богатой растворенным Na, в породы, содержащие пресные воды с адсорбированным Ca, происходит обогащение вод Ca, и вода хлоридно-магниево-натриевая может перейти в хлоридно-кальциево-магниево-натриевую.

Присутствие лагунных фаций среди осадочных отложений различного возраста на отдельных участках территории СССР свидетельствует о широком распространении в прошлом лагунных бассейнов.

Проанализировав мнение ученых (В. А. Сулин, Б. В. Ронов, А. И. Силин-Бекчури) о возможности проникновения морских вод в толщ осадочных пород, Г. Н. Каменский пришел к заключению, что после отступления моря, по крайней мере в первые периоды, толщи пород должны были быть, за редкими исключениями, насыщенными солеными и рассольными водами морского происхождения. При этом активно протекающие процессы диагенеза, завершающиеся образованием горных пород и вытеснением (отжатием) части вод обратно в водоемы, сменяются затем медленно протекающими процессами эпигенеза, в течение которых как породы, так и воды в них продолжают медленно изменяться. Г. Н. Каменский подчеркнул, что совершенно необоснованно, ошибочно мнение некоторых исследователей, полагающих, что при уплотнении осадочных отложений вся вода вытесняется обратно в водоем.

Метаморфизация вод в осадочных породах в процессе эпигенеза. Вопрос, когда и где происходит метаморфизация вод, сложен и труден. Ученый полагал, что метаморфизация вод происходит еще в самих морских бассейнах и захоронению уже подвергается метаморфизированная вода. Резкое отличие глубинных рассолов от морской воды он объяснял главным образом процессами ее метаморфизации в период нахождения вод в замкнутых усы-

хающих бассейнах — лагунах. В них вода достигает предельной концентрации для значительной части растворенных солей. Появление в воде хлоридов кальция, по его мнению, происходит по реакциям схем Гайдингера и Курнакова. В результате выделения солей вместе с увеличением общей минерализации повышается и содержание микроэлементов — йода, брома, бора.

Подчеркнув, что процессы метаморфизации вод еще мало изучены и представления о них относятся большей частью к области гипотез различной достоверности, Каменский выделял процесс десульфатизации в зависимости от содержания органического вещества и термического режима пластов, совершающий нефтеобразование и обеспечивающий участие радиоактивных элементов, продукты распада которых (α -, β - и γ -лучи) вызывают те или иные изменения в составе пород и вод, приводя к образованию углеводородов и углекислоты. Десульфатизация ведет к разложению молекул воды в глубоких слоях пород в течение длительного геологического времени и может быть существенным фактором повышения концентрации растворенных в воде веществ.

Наконец, в представлении ученого важен и процесс «отжатия вод из уплотняющихся сжимаемых осадков (особенно глинистых)» [60, с. 14]. Тут значение приобретает не только механическое отжатие, но и другие стадии этого процесса: преобразование самого вещества осадков, превращение коллоидов в более крупные дисперсные частицы, их кристаллизация и т. д.

Формирование вод артезианских бассейнов в процессе замещения древних соленых вод инфильтрационными водами атмосферного происхождения. Г. Н. Каменский отмечал, что инфильтрация атмосферных и поверхностных вод суши зависит от ряда факторов (общая водопроницаемость горных пород, характер геологических структур, степень расчленения рельефа и разность высот областей питания и дренирования, климатические условия) и в целом от истории содержащих воду геологических структур. На известной исторической стадии артезианских бассейнов инфильтрационная вода, встречаясь на своем пути с солеными водами, вступает в процесс миграции и замещения вод первичной генерации. «Этот процесс, протекающий очень медленно в течение длительного геологического времени, ведет к постепенному изменению состава вод и размещению вод разного состава и генезиса в

бассейне, что в целом составляет процесс гидрогеологического развития артезианского бассейна, являющегося отражением геологического развития данного участка суши после отступления моря» [60, с. 15].

Подземный сток, которому Каменский уделял большое внимание, в артезианских бассейнах протекает весьма сложно, с разной интенсивностью. Ученый характеризовал три основных случая: в хорошо дренированных структурах подземный сток совершает относительно короткий путь от области питания к области разгрузки; в условиях пустынно-степных равнин с теплым сухим климатом сток развивается слабо или совсем отсутствует, расходование происходит в форме испарения, приводя к континентальному засолению; в приподнятых краевых частях артезианских бассейнов идет фильтрация в более глубокие слои — создаются мощные артезианские потоки, которые на более или менее значительные расстояния от областей питания разрушаются, образуя восходящие источники.

В краевые части артезианских бассейнов проникают инфильтрационные воды, в результате чего происходят: процессы смешения тех и других вод, сопровождающиеся реакциями взаимодействия растворенных в водах соединений; физико-химические процессы обмена катионами между инфильтрационной водой и породой; процессы химического растворения солей, возникающие здесь вследствие большой растворяющей способности пресной атмосферной воды, содержащей свободную углекислоту; процессы окисления, развивающиеся благодаря проникновению воды, богатой кислородом, в морские осадочные образования, до того имевшие закисный характер. Все эти процессы приводят к новым химическим типам вод.

Процессы смешения, опреснения, вытеснения связаны с определенным гидродинамическим режимом. Краевая область артезианских бассейнов характеризуется присутствием различных видов вод, сменяемых ближе к выходу водоносного пласта водами пресными. В краевых зонах различных артезианских бассейнов, как на древних платформах, так и в горно-складчатых областях Средней Азии, Сибири, Кавказа, где выпадает много атмосферных осадков, развиты гидрокарбонатно-кальциевые артезианские воды умеренной или слабой минерализации.

Каждый артезианский бассейн представляет собой сложную гидродинамическую систему с неравномерным

распределением участков питания и стока. В расположении этих участков наблюдаются различные соотношения. В простейшем случае классической артезианской мульды с погружающейся осью область питания находится на одной стороне бассейна, область стока — на противоположной.

Г. Н. Каменский показал на примерах конкретных бассейнов территории европейской части СССР различные стадии геологического развития артезианских бассейнов, степени их опреснения и промытости. Ученый рассмотрел геохимические реакции между растворами инфильтрационных вод и растворами древних вод бассейнов, приводящие к формированию в бассейнах различных гидрохимических типов подземных вод. Так, в северозападной части Сурско-Хоперского артезианского бассейна в верхнем девоне в области питания встречены пресные воды — плотный остаток 370 мг/л, тип вод гидрокарбонатно-кальциевый; а на глубине свыше 330 м в этом же комплексе (D_2) залегают уже рассолы «первичной генерации» — плотный остаток 181 г/л, тип вод хлоридно-натриевый. В Припятском артезианском бассейне в области питания — пресные воды гидрокарбонатные с минерализацией от 0,15 до 0,5 г/л, а в глубоких частях — рассолы хлоридные уже с минерализацией 360—430 г/л.

Хорошую иллюстрацию изменения минерализации с погружением пород и удалением от области питания представляют воды Московского артезианского бассейна. В Москве воды мячковско-подольского горизонта среднего карбона характеризуются так: пресные — плотный остаток 340 мг/л, тип вод гидрокарбонатно-кальциевый, а в Шатуре (горизонт перекрыт породами верхнего карбона) — плотный остаток 1,3 г/л, тип вод переходит в сульфатно-кальциевые. Еще севернее, с удалением от областей питания, плотный остаток возрастает до 2,5 г/л. Протвинский водоносный горизонт нижнего карбона (C_1^{Pr}) имеет погружение пластов на север; в Коломне (область питания горизонта) — воды пресные; в Кашине — соленые, плотный остаток 20 г/л, тип вод хлоридно-натриевый; в Вологде — рассолы, плотный остаток 100 г/л.

В случае сложных, неоднородных структур условия разгрузки и стока вод действуют в различных сочетаниях, что существенно осложняет механизм формирования вод артезианских бассейнов. Как писал Каменский, след-

ствием неравномерности распределения вод в морских осадочных породах является неравномерное замещение в них соленых морских вод морского генезиса инфильтрационными водами, за которым следуют процессы взаимодействия новых инфильтрационных вод с породами и выщелачивание последних, обменная адсорбция, биохимические процессы, свойственные глубоким закрытым слоям в анаэробных условиях (десульфитизация). Различные структуры и, особенно впадины, являющиеся артезианскими бассейнами, находятся в настоящий момент в различных стадиях развития процесса замещения, что зависит от геологического возраста структур, их тектоники, состава пород, топографических и гидродинамических условий [60, с. 98].

В качестве примера ученый рассмотрел артезианские бассейны Причерноморской впадины и Предкавказья, а также Днепровско-Донской бассейн. Здесь при замещении древних соленых вод пресными инфильтрационными в результате взаимодействия последних с горными породами происходит формирование новых типов вод, размещающихся в промежуточной зоне между зонами вод древних соленых и пресных инфильтрационных. В результате процессов обменной адсорбции (коллоиды осадочных пород с Na и пресная инфильтрационная вода с Ca) формируются новый тип вод — гидрокарбонатно-натриевый.

Каменский подчеркивал, что охарактеризованная им картина формирования подземных вод в артезианских бассейнах представляет лишь схему последовательности и сочетания генетических процессов, которая требует конкретизации в каждом отдельном случае. Все это многообразные процессы, происходящие в течение длительного геологического времени, могут быть правильно оценены лишь в геологическом аспекте, с учетом всего комплекса процессов формирования подземных вод.

Формирование грунтовых вод

В формировании грунтовых вод преобладающее значение имеют инфильтрация атмосферных осадков и поглощение вод поверхностного стока. В некоторых районах в подобном процессе, по-видимому, принимают участие конденсационные воды, а по берегам морей и на участках суши, недавно освободившихся от моря (например, на площади Прикаспийской низменности), — и морские.

В условиях влажного климата подземный сток, возникающий в результате инфильтрации атмосферных осадков, заканчивается в виде источников относительно недалеко от области питания. При этом происходит выщелачивание горных пород, и формирующиеся воды могут быть названы общим наименованием грунтовые воды выщелачивания.

В условиях теплого сухого климата на равнинах со слабо развитой дренирующей сетью подземный сток развивается в ограниченных размерах, а на некоторых участках совсем отсутствует. Грунтовые воды в значительной степени расходуется на испарение и приводят к развитию процессов континентального засоления. Такие воды могут быть названы грунтовыми водами континентального засоления.

Деление грунтовых вод по их генетическим типам, предложенное Каменским, используется и сейчас. Оно вошло во многие учебники и учебные пособия для вузов и техникумов. Рассмотрим подробнее образование грунтовых вод по Каменскому.

Грунтовые воды выщелачивания. В формировании этих вод ведущее значение имеют процессы растворения пород или входящих в их состав растворимых минералов, различные формы химического и физико-химического выщелачивания пород в сочетании с выветриванием и результатами жизнедеятельности организмов.

В условиях избыточного увлажнения разложение растительных остатков ведет к образованию органических веществ кислотного характера. Создающаяся кислая среда и нисходящие токи просачивающихся сверху вод способствуют энергетичному разложению минеральных составных частей почвы и горных пород. Из почв выщелачиваются не только легкорастворимые хлоридные и сульфатные соли, но и карбонаты кальция и магния и даже полутораоокислы (Fe_2O_3 , Al_2O_3). Соли и частично железо в виде закисных солей выносятся грунтовыми водами в реки. Легкорастворимые соли постепенно удаляются, и в итоге формируются гидрокарбонатные воды: преимущественно гидрокарбонатно-натриевые, гидрокарбонатно-кальциевые, гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. Они отличаются ввиду малой растворимости солей невысокой минерализацией (в среднем 300—500 и не выше 1000 мг/л).

В областях развития гипсоносных пород (Горьковская, Татарская АССР, Приуралье) встречаются грунтовые воды с повышенным содержанием сульфатов, иногда представляющие собой довольно концентрированные растворы сульфатов кальция с минерализацией до 3—5 г/л.

Ученый разбирает и случаи образования сульфатных и кислых вод в болотных массивах. Здесь при наличии органических кислот и в определенных условиях (например, осушение) может происходить окисление сернистых соединений, часто присутствующих в торфяниках и болотных грунтах.

Хлоридные воды, по мнению Каменского, среди грунтовых вод выщелачивания имеют ограниченное распространение, так как генетически связаны с месторождениями каменной соли или соленосными отложениями, которые имеют локальный характер.

Грунтовые воды континентального засоления. На засушливых равнинах вследствие малого количества атмосферных осадков, интенсивного испарения и отсутствия естественного дренажа создаются условия, неблагоприятные для развития подземного стока и образования источников. В расходной части баланса грунтовых вод преобладает испарение. Инфильтрация атмосферных осадков периодически сменяется восходящими капиллярными токами, создающимися под влиянием испарения. В бессточных котловинах в питании грунтовых вод вместе с инфильтрационными водами атмосферных осадков участвуют воды поверхностного стока, собирающиеся в лиманах, и воды рек, уровень которых в засушливых низменностях находится обычно выше уровня грунтовых вод.

Формирование химического состава грунтовых вод в условиях интенсивного испарения и отсутствия естественного дренажа совершается в связи с процессами засоления. Выделяется ряд стадий: смыв дождевой и талой снеговой водой выцветов солей с почв, усыхание временных водоемов, испарение воды с поверхности почвы и транспирация ее растениями и, наконец, испарение грунтовых вод с капиллярной каймы. Все эти процессы ведут к формированию вод повышенной минерализации. Среди составляющих группу вод континентального засоления наиболее обычны воды сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные. По степени минерализации они весьма разнообразны: от жестких и слабосоленых до соленых.

«Направление гидрогеохимических процессов в засуш-

ливых равнинах,— писал ученый,— изменяется в ходе геологического развития страны. Изменяются условия питания и стока в связи с тектоническими движениями, углублением дренирующей эрозионной сети, а также в связи с изменением климата. При этом на некоторых участках, где создаются благоприятные условия для инфильтрации, засоление может смениться рассолоением» [60, с. 21]. В этих случаях в результате обменных реакций Na и Ca образуется сода. Вымываясь из почвы, она обогащает грунтовую воду. Так, под солонцами в условиях рассоления формируются своеобразные щелочные воды — гидрокарбонатно-натриевого состава.

Особенности формирования и распределения подземных вод в горноскладчатых областях

Особенности формирования подземных вод и их распределение в горных местностях, по мнению Г. Н. Каменского, обусловлены геологической историей и современными физико-географическими факторами. В горах образуются обильные потоки пресных грунтовых вод. На участках межгорных низменностей и котловин сток замедляется, что ведет в условиях засушливого климата к образованию бессточных бассейнов с высокоминерализованными водами. Каждое горное сооружение представляет собой в гидрогеологическом отношении страну источников, распределение которых связано с тектонической структурой.

Распределение различных химических типов подземных вод в горных системах связано с условиями их формирования. Процессы замещения первичных солевых вод в морских осадочных толщах протекают по-разному в различных элементах горных систем. В горных хребтах, представляющих собой открытые структуры, широко распространены пресные грунтовые и артезианские воды. Нередко встречаются ценные минеральные воды лечебно-го значения, реже наблюдаются высокоминерализованные соленые воды и рассолы.

Ученый подчеркивал: «В горных сооружениях молодого возраста формирование подземных вод происходит также в условиях магматического и метаморфического циклов» [60, с. 22]. Но гипезису вод, возникающих на

участках магматической деятельности при охлаждении магмы и при метаморфизме пород, Каменский уделил немало внимания. Это, видимо, объясняется тем, что для суждения о подобных процессах геологи не располагают еще достаточными и достоверными фактами. Однако и в таких сложных проблемах ученый выбирал правильные, с нашей точки зрения, позиции, не отрицая возможности возникновения наряду с возрожденными водами также и ювенильных вод, образующихся при магматических и метаморфических процессах.

Вопрос, содержит ли магма воду или является относительно «сухой», в литературе обсуждался неоднократно. Большинство ученых в настоящее время полагают обязательным присутствие воды в магмах различного состава, но количественную ее оценку продолжают обсуждать. Называют цифры разного порядка. Так, в кислой магме, образующейся в земной коре, предполагают содержание воды не менее 2,5% весовых, в основной магме, восходящей из верхней мантии, — до 5,8% весовых. Магма может поглощать воду из окружающих пород. Это определяется давлением флюида, давлением кровли на объем расплава, гидростатическим давлением на каждом уровне магмы и, наконец, первоначальной концентрацией в ней летучих компонентов. Таким образом, вполне очевидно, что окончательная концентрация воды в магмах в процессе их длительного и сложного образования может зависеть не только от концентрации воды «на месте», но и от приноса воды «по пути» миграции из окружающих пород. Вероятно, цифры концентрации около 3—5% весовых определяют собой то предельное количество воды, которое могла бы поглотить при взаимодействии с веществом коры первичная основная магма.

В настоящее время осуществляются попытки в какой-то мере реставрировать гипотезу Э. Зюсса о ювенильных водах. При этом ссылаются на избыточное количество хлора (по сравнению с щелочами), имеющееся в современном Мировом океане, которое нельзя объяснить химической денудацией континентов. Следовательно, хлор эндогенного происхождения. Полагают, что хлор и некоторые летучие компоненты брома и йода накапливаются в подземных водах в результате повсеместного и непрерывного диффузионного проникновения их из верхней мантии через толщу коры, в частности из основной базальтовой лавы.

Вопрос «о водах, возникающих на участках магматической деятельности», тесно связан с генезисом и условиями формирования лечебных минеральных и промышленных термальных вод. Этим проблемам в последние годы посвящен ряд монографий и диссертаций.

В статье, написанной совместно с В. А. Приклонским, Г. Н. Каменский говорил о том, что проблема термальных вод приобретает в настоящее время большое теоретическое и практическое значение [58]. В ряде горных районов СССР с молодой тектоникой и недавней магматической деятельностью есть горячие источники и гейзеры. Высокотемпературные воды распространены повсюду и в равнинных областях СССР. По мнению авторов, изучение условий образования и закономерностей распространения термальных вод необходимо для теоретического обоснования получения их из глубоких буровых скважин для нужд теплофикации. Научная разработка проблемы термальных вод нужна также для комплексного, совместного с геофизиками, вулканологами и другими специалистами, исследования общего теплового баланса Земли.

Заканчивая раздел, отметим, что дальнейшая разработка учения о генезисе и формировании подземных вод, как об этом писали Г. Н. Каменский и В. А. Приклонский, должна основываться на наблюдении и анализе современных геологических и гидрогеологических процессов в разных физико-геологических условиях; на изучении и анализе палеогидрогеологической обстановки в связи с общей геологической историей страны; на лабораторно-экспериментальных исследованиях, воссоздающих и моделирующих ту или иную сторону природных процессов формирования подземных вод.

Особое значение имеет изучение физических, физико-химических и химических процессов взаимодействия природных вод, газов, нефти с горными породами, вызывающего значительное изменение свойств и состояния тех и других. Огромное внимание приходится уделять при этом широко распространенным в земной коре глинистым породам, обладающим большой поверхностной энергией и легко растворимым водой породам, обогащающим подземные воды и флюиды различными элементами.

Большой теоретический интерес и не меньшее практическое значение, по мнению авторов, представляет собой расшифровка «фильтрационного эффекта Куржинского» [58]. Это явление, которому вполне обоснованно придает-

ся важная роль в минералообразовании, по-видимому, представляет собой сложный и далеко еще не изученный комплекс процессов: собственно фильтрационных на коллоидных мембранах, образующихся в глинистых породах; различных видов и форм сорбционных; и химических, ведущих к преимущественному задержанию породой отдельных химических элементов, мигрирующих с подземной водой.

Лабораторно-экспериментальные исследования, воссоздающие и моделирующие стороны природных процессов, происходящих на больших глубинах, также очень важны. Но объем таких исследований за последние годы, к сожалению, незначителен.

Вклад Г. Н. Каменского в проблему формирования подземных вод очень весом. Большая заслуга ученого заключается в том, что эту проблему он трактовал с широких геологических позиций и за геохимическим преобразованием ионного состава подземных вод видел сложную историю растворов в масштабе длительного геологического времени: их динамику, режим и зональность.

Подчеркнем интересную, на наш взгляд, особенность научного творчества Каменского. Известно, что еще в 1947 г. он выделил три основных генетических цикла подземных вод, охватывающих все многообразие подземных вод Земли: инфильтрационный или континентальный, морской или осадочный, метаморфический или магматический [34]. Позднее в своих работах ученый не акцентировал подобные представления и выражением «генетический цикл» пользовался мало. Факт не может не казаться странным: ведь многие исследователи развивали именно это генетическое направление. Причину мог бы, вероятно, объяснить только сам Каменский. Видимо, что-то в этих выражениях-понятиях его не удовлетворяло.

Вопросы формирования подземных вод, как отмечали современники Каменского, относятся к очень сложным, многогранным и мало разработанным. Такое утверждение целиком справедливо и в наши дни по отношению к глубоким минерализованным водам и рассолам. Совещания по формированию подземных вод, прошедшие в 1968 г. во ВСЕГИНГЕО и в 1976 г. в МГУ, подтвердили это. В исследуемой проблеме остаются неясными и дискуссионными следующие узловые вопросы: как формируются высококонцентрированные хлоридные воды и рассолы; где и когда происходит их метаморфизация; роль в фор-

мировании вод, с одной стороны, пресноводных фаций, а с другой — хемогенных; роль вод инфильтрационного происхождения.

Огромный фактический материал последних лет позволил установить, что высококонцентрированные рассолы обычно залегают в тех структурах-бассейнах, в разрезе которых участвуют хемогенные осадки (каменная и калийная соли, гипс, ангидрит). Рассолы распространены не только в толщах хемогенных пород, но и в других частях артезианских бассейнов таких структур. Это подтверждено разрезами буровых скважин в бассейнах Московском, Припятском, Прикаспийском, Волго-Камском, Иркутском, Ангаро-Ленском.

За последние годы различными авторами проведена статистическая обработка значительного количества данных по буровым скважинам артезианских бассейнов. Специально сопоставлялась максимальная минерализация пластовых вод глубоких горизонтов с литолого-фациальными особенностями пород. Исследования показали, что в водоносных горизонтах, сложенных исключительно пресноводными фациями, минерализация подземных вод не превышает 10—35 г/л даже на глубине 2—3 км. Когда скважинами вскрыты карбонатные породы бассейнов нормальной солености, минерализация хлоридных вод даже на глубине до 4 км достигает не более 40—50 г/л (Западная Сибирь), при наличии гипсов и ангидритов она доходит уже до 200—250 г/л, а при пластах каменной соли даже может превышать 320 г/л.

Наиболее концентрированные хлоридные рассолы (500—600 г/л и выше) обнаружены только в артезианских бассейнах с мощными толщами каменной или калийной солей. Так, даже в верхнем динамическом этаже, в Соль-Илецком соляном куполе, напорные воды, встреченные на глубине всего 43—80 м, имели плотный остаток 290 г/л. Нахождение рассолов среди пресноводных фаций чаще всего объясняется подтоком или перетоком их из толщ с повышенной соленостью.

Большой материал, систематизированный за последние годы, показывает, что не все генерации (термин Каменского) хлоридных вод обязательно генетически связаны с соленосными отложениями. Тщательное изучение особенностей их ионного состава позволило выделить среди хлоридных вод две совершенно различные генетические модификации: хлоридные воды, а иногда и рассолы со

слабовыраженным преобладанием Cl^- над суммой $\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$, с незначительным содержанием Ca^{2+} и микрокомпонентов; хлоридные воды и рассолы существенно кальциевые или натриево-кальциевые, обычно сильноминерализованные, содержащие высокие концентрации брома и других микрокомпонентов.

Происхождение модификаций считают резко различным. Первая чаще всего образуется в результате катионного обмена в коре выветривания, т. е. представляет воды выщелачивания, по терминологии Каменского. Генезис вторых — очень сложен. Не исключено возникновение хлоридов и магматическим путем из гидротерм.

Интересен не выясненный до сего времени вопрос, где и когда происходит метаморфизация вод: в самих водных бассейнах — лагунах (мнение Каменского), позднее — в илах во время раннего диагенеза или много миллионов лет спустя на большой глубине? Здесь взгляды ученых резко расходятся. Ряд исследователей полагают, что процесс метаморфизации морских вод происходит в толще иловых отложений либо наконец в подземной глубинной обстановке. По этим представлениям, хлориды кальция — специфический компонент только подземных глубинных вод.

В 40—50-х годах, когда этими вопросами занимался Г. Н. Каменский, буровых скважин было еще немного. Крупнейшие артезианские бассейны (Западно-Сибирский, Ангаро-Ленский) только начинали изучаться. В последние годы вышел ряд капитальных трудов по исследованию таких бассейнов. В некоторых из них генезис рассольных вод, скажем Ангаро-Ленского бассейна, трактуется совершенно с разных принципиальных позиций. Одни полагают, что рассолы седиментационно-диагенетического генезиса, другие — инфильтрационного.

Подтвердится ли верность предположений ученых, покажет будущее.

Заключение

В том, что в настоящее время советская гидрогеология занимает ведущее положение в мировой науке о подземных водах, огромная заслуга Григория Николаевича Камешского.

Первые работы учебного обогатили область геологии и региональной гидрогеологии. Наиболее значительные из них: исследования в районе Среднего Дона, позволившие выделить и охарактеризовать на глубокой научной основе Донецко-Донской артезианский бассейн, и изучение южной части Общего Сырта, давшее возможность впервые установить здесь соляную тектонику и открыть Озинское месторождение горючих сланцев, разрабатываемое до настоящего времени. Эти материалы послужили также и основанием для заложения глубокой буровой скважины, которой было вскрыто месторождение калийных солей, имеющее промышленное значение и сегодня.

Много сделал Г. Н. Каменский для создания учения о динамике подземных вод.

К началу 30-х годов XX в. этого раздела гидрогеологии не существовало. К изучению движения подземных вод в пористых породах впервые обратился французский гидролог А. Дарси, открывший в 1852 г. основной закон фильтрации. В том же году Ж. Дюпюи применил закон Дарси для исследования движения подземных вод к водосборным сооружениям. Дальнейшим развитием теории фильтрации стали работы Н. Н. Павловского, в которых он рассмотрел точный гидромеханический и приближенный гидравлический методы, подробнее разработанные в трудах его учеников и последователей. Все исследователи рассматривали вопросы фильтрации только для однородных толщ. Влияние неоднородности пород на движение подземных вод не учитывалось.

Г. Н. Каменский, идя навстречу вопросам практики, разработал теорию фильтрации подземных вод в неоднородных пластах. Он предложил для практического применения в гидрогеологическом строительстве ряд уравнений при установившемся движении подземных вод, сохранивших свое значение до настоящего времени. Позднее уче-

ный вывел уравнение движения подземных вод в между-
речном массиве. Оно и теперь используется для прогноза
уровней подземных вод, расчета их подпора, определения
величины их питания. По этой величине до сих пор оце-
нивают естественные ресурсы подземных вод.

Новый этап развития динамики подземных вод насту-
пил с применением предложенного Каменским метода
конечных разностей в составлении зависимостей, описы-
вающих неустановившееся движение вод. Конечно-разно-
стные уравнения имеют большое практическое значение
и применяются для гидродинамического анализа режима
грунтовых вод; определения гидрогеологических парамет-
ров потока; прогноза режима грунтовых вод в условиях
подпора, орошения, водопритока к скважинам и горным
выработкам; расчета фильтрационных потерь грунтовых
вод водохранилища и др. Они позволяют учитывать слож-
ные гидрогеологические условия, дают возможность зна-
чительно большего приближения расчета к конкретным
природным условиям, чем при использовании аналитиче-
ских методов.

Большую роль сыграли работы Г. Н. Каменского в
развитии инженерной геологии. В середине 30-х годов
XX в. эта дисциплина еще считалась прикладной. Ученый,
дав ясную формулировку задач инженерной геологии, до-
казал, что она становится наукой, являющейся отраслью
геологии.

Г. Н. Каменский внес весомый вклад в разработку
методики гидрогеологических исследований. Под его ру-
ководством была проведена оценка ресурсов подземных
вод для целей водоснабжения и составлена классифика-
ция этих ресурсов, которая была принята Государствен-
ной комиссией по запасам полезных ископаемых как офи-
циальный документ.

Неоценимое значение имеют труды Г. Н. Каменского
по проблеме формирования подземных вод. Он проана-
лизировал характерные сочетания и последовательности
генетических процессов, которые протекают в различных
геолого-исторических условиях, и намечил соответствую-
щие им основные генетические типы вод.

Г. Н. Каменский оставил большое научное наследство,
успешно обогащаемое его учениками и последователями.

Основные даты жизни и деятельности Г. Н. Каменского

1892. 19 января родился в с. Клекотки Епифановского уезда Тульской губернии.
1910. Окончил экстерном Тульскую гимназию.
1910. Поступил в Московский сельскохозяйственный институт.
- 1914—1916. Работал гидрогеологом Поволжских изыскательских партий отдела Земельных улучшений. Окончил Московский сельскохозяйственный институт по инженерно-мелиоративному отделению и был оставлен в институте для подготовки к педагогической деятельности.
- 1916—1917. Работал геологом Комиссии по исследованию фосфоритов Мосгубземотдела.
- 1917—1920. Работал гидрогеологом отделов мелиорации Мосгубземотдела и Наркомзема.
- 1920—1923. Работал ассистентом кафедр гидрогеологии Московской горной академии и Московского гидромелиоративного института.
- 1925—1930. Доцент кафедры гидрогеологии Московской горной академии.
- 1926—1931. Работал гидрогеологом Московского геологического управления.
- 1930—1953. Возглавлял кафедру гидрогеологии и инженерной геологии МГРИ им. С. Орджоникидзе.
- 1930—1959. Был членом Ученого совета МГРИ и членом научно-технической секции Московского геологоразведочного управления.
- 1931—1935. Работал старшим научным сотрудником ГИДРОТЕХГЕО.
- 1935—1939. Работал старшим научным сотрудником ИГН АН СССР.
- 1937—1941. Был членом Ученого совета ГИДРОТЕХГЕО.
- 1939—1943. Депутат Моссовета.
1939. Награжден орденом «Знак Почета» за заслуги в развитии высшего и среднего специального образования, подготовке квалифицированных специалистов для народного хозяйства и достигнутые успехи в развитии научных исследований.
- 1939—1949. Работал старшим научным сотрудником ВСЕГИНГЕО.
- 1940—1950. Входил в состав бюро гидрогеологической секции Всесоюзного научно-технического горного общества.
1941. Получил ученую степень доктора геолого-минералогических наук за диссертацию «Метод конечных разностей для решения задач по движению грунтовых вод и прогнозу их режима». Решением Высшей аттестационной комиссии утвержден в ученом звании профессора по кафедре гидрогеологии.
1944. Награжден орденом Трудового Красного Знамени за успешное выполнение задания правительства в области геологических изысканий и увеличения ресурсов стратегического сырья для горнодобывающей промышленности и медалью «За оборону Москвы».

1945. Награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.»
- 1945—1946. Был членом Экспертной комиссии Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего и среднего специального образования.
- 1949—1959. Работал старшим научным сотрудником Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР и одновременно исполнял обязанности заместителя директора по научной части.
- 1950—1953. Депутат Краснопресненского районного Совета депутатов трудящихся.
- 1950—1958. Редактор-консультант раздела геологии БСЭ.
- 1950—1959. Заместитель председателя бюро гидрогеологической секции Всесоюзного научно-технического горного общества.
1953. Избран членом-корреспондентом АН СССР.
- 1955—1959. Председатель Советской гидрогеологической секции при Национальном комитете геологов Советского Союза.
1956. Назначен директором Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР.
- 1956—1959. Вице-президент Международной ассоциации гидрогеологов.
1959. 17 июля. Умер и похоронен в Москве на Новодевичьем кладбище.

Труды Г. Н. Каменского

- 1924 1. О геологическом строении правобережья р. Дона между станциями Усть-Медведицкой и Трех-Островянской.— Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол., 1924, т. 2, вып. 3, с. 227—241, рис., библиогр.: 16 назв.
- 1926 2. Применские капельницы для полевого анализа воды.— В кн.: Методика гидрогеологических исследований / Сост. А. Н. Мазарович; При участии Г. Н. Каменского и др. М.: Центр. гидр. станция Наркомзема, 1926, вып. 1, с. 64—66, рис., табл.
- 1928 3. Гидрогеологическое исследование в южной части Общего Сырта, произведенное в 1926 г.— Изв. Геол. ком., 1928, т. 46, № 10, с. 1249—1264, рис., табл., библиогр.: 19 назв.
4. О выходах юрских отложений в южной части Общего Сырта.— Там же, т. 47, № 6, с. 589—594, рис.
5. О геологических условиях залегания строительных материалов по правому берегу Дона.— Хоз-во на новых путях, 1928, № 3, с. 72—92, библиогр.: 14 назв.
- 1929 6. Гидрогеологические исследования в связи с устройством водоподпорных сооружений и водохранилищ / В соавт. с А. П. Нифонтовым. М.: Новая деревня, 1929, 56 с., рис.
- 1931 7. Подсчет коэффициента фильтрации для случая асимметричной воронки депрессии: (Тез. докл.) / В соавт. с Г. В. Богомоловым. Л.: Геолгиз, 1931, 8 с., рис.
- 1932 8. Определение коэффициента фильтрации песка в «трубке» (метод проф. Г. Н. Каменского).— В кн.: Инструкция по лабораторно-экспериментальным работам. Рязань: Ин-т ГИДРО-ТЕХГО, 1932, с. 41—44, рис. табл.
9. Профили специалистов по гидрогеологии и инженерной геологии.— В кн.: Водные богатства недр земли на службу социалистическому строительству: Первый Всесоюз. гидрогеол. съезд. Л.; М.: НКТП, 1932, сб. 2, с. 84—97.
- 1933 10. Гидрогеологический тип как основная единица гидрогеологического районирования.— Там же, 1933, сб. 8, с. 28—30.
11. Карты водопроницаемости и динамических запасов грунтовых вод в Пехорско-Купавинском районе близ г. Москвы / В соавт. с И. В. Гармоновым.— Там же. Л. и др.: НКТП, 1933, сб. 6, с. 70—77, рис.
12. Об определении водопроницаемости грунтов с сохранением структуры.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Госстройиздат, 1933, вып. 8, ч. 1/2, с. 108—118, рис., табл., библиогр.: 6 назв.
13. Опыт-но-лабораторные методы определения водопроницаемости горных пород.— В кн.: Водные богатства недр земли на службу социалистическому строительству: Первый Всесоюз. гидрогеол. съезд. Л. и др.: НКТП, 1933, сб. 6, с. 53—62, рис., табл.

14. Основы динамики подземных вод. М.; Л.: Геолразведиздат, 1933. Ч. 1. 152 с., рис., табл., библиогр.: 8 назв.
15. Подсчет коэффициента фильтрации по откачке для случая асимметричной воронки депрессии / В соавт. с Г. В. Богомоловым.— Там же, с. 45—53, рис., табл.
- 1935 16. Движение подземных вод в неоднородных пластах / В соавт. с Н. А. Корчебоковым, К. И. Разиным. М.; Л.: ОНТИ, 1935, 167 с., рис., табл., библиогр.: 29 назв.
17. Основы динамики подземных вод. М.; Л.: Геолразведиздат, 1935. Ч. 2. 279 с., рис., табл., библиогр.: с. 273—275.
- 1936 18. Предмет инженерной геологии как науки.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1936, № 1, с. 223—229.
- 1937 19. Определение расхода грунтового потока в неоднородных грунтах Москворецкой долины по трассе дрепажа, проектируемого в г. Москве.— Труды МГРИ, 1937, т. 6, с. 5—14, рис.
- 1938 20. Движение подземных вод в междурусечном массиве.— Докл. АН СССР, 1938, т. 21, № 5, с. 259—269, рис.
21. Теоретическое исследование режима подземных вод на основе уравнений математической физики и гидравлики.— В кн.: Режим подземных вод / Под ред. Г. Н. Каменского. М.; Л.: ГОНТИ, 1938, с. 7—17, библиогр.: 16 назв.
- 1939 22. Гидрогеология и динамика подземных вод.— В кн.: Справочник по инженерной геологии. М.; Л.: ГОНТИ, 1939, отд. 3, с. 57—97, рис., табл., библиогр.: 24 назв.
23. Определение подпора грунтовых вод при паводке в долине р. Москвы.— Труды Геол. ин-та АН СССР, 1939, т. 9, с. 113—142, рис., табл., библиогр.: 9 назв.
- 1940 24. Влияние строительства канала Москва — Волга на режим грунтовых вод г. Москвы.— В кн.: По геологии в связи с реконструкцией г. Москвы. М.: Изд-во АН СССР, 1940, с. 43—52.
25. О гидродинамических основах прогноза режима грунтовых вод.— Труды МГРИ, 1940, т. 20, с. 252—261, рис., табл., библиогр.: 5 назв.
26. Подземная вода.— В кн.: БСЭ, 1940, т. 45, с. 784—787, библиогр.: 5 назв.
27. Развитие инженерно-геологической специальности в МГРИ.— Труды МГРИ, 1940, т. 20, с. 30—34.
28. Уравнения неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях и применение их к исследованию явлений подпора.— Изв. АН СССР. Отд. техн. наук, 1940, № 4, с. 53—56, рис., табл., библиогр.: 5 назв.
- 1943 29. Основы динамики подземных вод. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Госгеолиздат, 1943. 243 с., рис., табл., библиогр.: с. 243—244.
- 1946 30. Инструкция по исследованию водопроницаемости горных пород методом опытных нагнетаний. М., Л.: Госгеолиздат, 1946. 37 с., рис.
31. Каталог буровых на воду скважин для курса «Подземные воды СССР» / В соавт. с П. П. Климентовым. М.: МГРИ, 1946. 79 с., табл.
32. Классификация ресурсов подземных вод для целей водоснабжения и методика их подсчета / В соавт. с Н. А. Плотниковым, Г. В. Богомоловым, М.; Л.: Госгеолиздат, 1946. 116 с., рис., табл., библиогр.: 21 назв.
- 1947 33. Гидрогеологические исследования и разведка источников

- водоснабжения: (Метод. руководство). М.; Л.: Госгеолиздат, 1947. 89 с., табл., прил., библиогр.: 19 назв.
34. Поиски и разведка подземных вод. М.; Л.: Госгеолиздат, 1947. 310 с., рис., табл., библиогр.: с. 306—310.
35. Типы режима грунтовых вод и их характеристика на гидродинамической основе.— Труды расшир. совещ. 18—22 марта по науч.-исслед. работам Ин-та ВОДГЕО. Гидрогеол. секция. М.: ВОДГЕО, 1947, с. 80—90, библиогр.: 4 назв.
- 1948 36. Гидродинамические принципы исследования режима водопритока в горных выработках.— Сов. геология, 1948, сб. 35, с. 10—20, рис., библиогр.: 4 назв.
37. Научные основы региональной гидрогеологии в свете достижений по изучению подземных вод СССР за 30 лет Советской власти.— В кн.: Тез. докл. на науч. конф. МГРИ. М.: МГРИ, 1948, с. 61—63.
- 1949 38. Геологическое строение южной части Общего Сырта и геоструктурные подразделения как основа гидрогеологического районирования.— Труды МГРИ, 1949, т. 24, с. 3—24, рис., табл., библиогр.: 24 назв.
39. Зопальность грунтовых вод и почвенно-географические зоны.— Труды Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1949, т. 6, с. 5—21, рис., библиогр.: 27 назв.
40. Методы исследования и разведки подземных вод в целях их использования.— В кн.: Принципы и методы комплексного использования водных ресурсов малых бассейнов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949, с. 176—187.
41. Проблемы формирования подземных вод по материалам трудов Лаборатории гидрогеологических проблем / В соавт. с А. И. Силин-Бекгуриным, Д. С. Соколовым.— Труды Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1949, т. 2, с. 81—92.
- 1950 42. Артезианские воды.— В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1950, т. 3, с. 120—121, рис., библиогр.: 6 назв.
- 1951 43. Баланс подземных (грунтовых) вод.— Там же, 1951, т. 4, с. 109—110, библиогр.: 4 назв.
- 1952 44. Водоносный горизонт.— Там же, 1952, т. 8, с. 356.
45. Водопроницаемость горных пород.— Там же, с. 37, библиогр.: 2 назв.
46. Вопросы гидрохимического режима районов оросительных систем Прикаспийской низменности.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1952, № 1, с. 274—279, библиогр.: 3 назв.
47. Гидрогеология / В соавт. с А. М. Овчинниковым.— В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1952, т. 11, с. 274—279, библиогр.: 3 назв.
48. Грунтовые воды.— Там же, т. 13, с. 126—127, библиогр.: 6 назв.
49. Динамика подземных вод.— Там же, т. 14, с. 371, библиогр.: 12 назв.
50. К вопросу о постановке изучения методов лабораторного определения фильтрационных свойств пород: (Тез. докл.)— В кн.: Материалы по лабораторному исследованию грунтов. М.: МГРИ, 1952, с. 65—67, рис.
- 1953 51. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых / В соавт. с П. П. Климентовым, А. М. Овчинниковым. М.: Госгеолиздат, 1953. 356 с., рис., табл., библиогр.: с. 343—352.
52. Гидродинамические принципы изучения режима грунто-

- вых вод.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Госгеолиздат, 1953, с. 4—12, рис.
- 1954 53. Гидрогеохимическая зональность в распределении подземных вод.— Труды МГРИ, 1954, т. 26, с. 65—74.
- 1955 54. К методике определения коэффициента μ (недостатка насыщения и водоотдачи) в уравнениях неустановившегося движения грунтовых вод.— Труды Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1955, т. 12, с. 48—56, рис., табл.
55. Подземные воды.— В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1955, т. 33, с. 407—440, библиогр.: 10 назв.
56. Принципы гидрогеологического районирования СССР.— В кн.: Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов. М.: Изд-во АН СССР, 1955, с. 14—17, табл., библиогр.: 7 назв.
57. Принципы прогноза гидрохимического режима грунтовых вод северной части Прикаспийской низменности.— Труды Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1955, т. 12.
- 1957 58. Современные проблемы гидрогеологии/В соавт. с В. А. Приклонским.— Вестн. АН СССР, 1957, № 10, с. 54—59.
59. La formation des eaux souterraines par zones dans les regions arides de L'U.R.S.S./Collab. I. V. Garmanov.— XX Congreso geologico Internacional, Sec. IV.— Geohidrologico de las regiones arides y subaridas. Mexico, 1957, с. 191—207, fig., tabl.
- 1958 60. Вопросы формирования подземных вод.— Труды Лаб. гидрогеол. пробл. АН СССР, 1958, т. 16, с. 7—26.
61. Методика прогноза изменений режима грунтовых вод и развития подтопления в зоне подпора (для условий двухмерного потока).— Там же, т. 20, с. 29—54, рис., библиогр.: 7 назв.
62. Подразделения и формулы химического состава вод (гидрохимические типы вод).— Там же, т. 16, с. 285—287.
- 1959 63. Гидрогеология СССР/В соавт. с Н. И. Толстихиным, М. М. Толстихиной. М.: Госгеолиздат, 1959. 369 с., рис., табл., библиогр.: с. 353—369.
64. Формирование подземных вод и зональное распределение их в засушливых районах СССР/В соавт. с И. В. Гармоновым.— Труды 2-го Узб. гидрогеол. совещ., 1959, с. 29—37, рис.
- 1960 65. Гидродинамическая характеристика различных видов потоков подземных вод/В соавт. с И. К. Гавич, С. М. Семеновой.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1960, № 10, с. 81—88, рис., библиогр.: 6 назв.
66. Гидродинамические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов (метод конечных разностей)/В соавт. с И. К. Гавич, Н. А. Мясниковой, С. М. Семеновой. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 190 с., рис., табл., библиогр.: с. 186—188.
67. Грунтовые воды Прикаспийской низменности и их режим в пределах Волго-Уральского междуречья/В соавт. с Г. Я. Богдановым, И. В. Гармоновым, Н. Ф. Гуркиной и др.; Отв. ред. Г. Н. Каменский. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 182 с. рис., табл., библиогр.: с. 178—180.

Литература о Г. Н. Каменском

- Балашов Л. С., Толстой М. П.* Вопросы генезиса и формирования подземных вод в работах Г. Н. Каменского.— В кн.: Значение трудов Г. Н. Каменского в развитии гидрогеологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 51—63, библиогр.: 61 назв.
- Богданов Г. Я.* К исследованию солевого баланса участка суши по уравнению Г. Н. Каменского.— Там же, с. 125—130, библиогр.: 10 назв.
- Гавич И. К., Семенова С. М.* Развитие вопросов динамики подземных вод в работах Г. Н. Каменского.— Там же, с. 31—50, рис., библиогр.: 70 назв.
- Гавич И. К., Швец В. М.* Г. Н. Каменский — ученый и педагог.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 4, с. 163—167, библиогр.: 8 назв.
- Гармонов И. В., Макаренко Ф. А., Овчинников А. М.* Григорий Николаевич Каменский.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1959, № 12, с. 97—98, 1 вкл. л. портр.
- Гармонов И. В.* Жизнь и деятельность Г. Н. Каменского и его роль в развитии советской гидрогеологии.— В кн.: Значение трудов Г. Н. Каменского в развитии гидрогеологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 4—8.
- Каменский Григорий Николаевич.*— В кн.: БСЭ. 2-е изд., 1953, т. 19, с. 523, библиогр.: 3 назв.; То же.— Там же. 3-е изд., 1973, т. 11, с. 268, библиогр.: 5 назв.
- Киселев П. А.* Прогноз колебаний уровня грунтовых вод методом конечных разностей.— В кн.: Значение трудов Г. Н. Каменского в развитии гидрогеологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 82—92, рис., библиогр.: 12 назв.
- Лебедев А. В.* Работы Г. Н. Каменского по режиму и ресурсам подземных вод.— Там же, с. 23—30.
- Овчинников А. М.* Г. Н. Каменский — воспитатель советских гидрогеологов.— Там же, с. 9—14.
- Попов И. В.* Учение Г. Н. Каменского об инженерно-геологических явлениях и его роль в развитии советской инженерной геологии.— Там же, с. 15—22, библиогр.: 8 назв.
- Тихомиров В. В., Бельская Л. В.* Григорий Николаевич Каменский.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1959, № 12, с. 99.
- Шестаков В. М.* О применении метода конечных разностей Г. Н. Каменского для фильтрационного расчета водопонижительных и водозаборных установок.— В кн.: Значение трудов Г. Н. Каменского в развитии гидрогеологии. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 103—113, рис., библиогр.: 18 назв.

Содержание

| | |
|--|------------|
| Введение | 5 |
| Часть первая | |
| Страницы жизни | 7 |
| Немного биографии | 7 |
| В годы работы в Московской горной академии и МГРИ им. С. Орджоникидзе | 11 |
| В Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР им. Ф. П. Саваренского | 23 |
| Часть вторая | |
| Пути научного творчества | 35 |
| Учение о динамике подземных вод | 35 |
| Режим и ресурсы подземных вод | 55 |
| Инженерная геология | 73 |
| Методика гидрогеологических исследований | 76 |
| Формирование подземных вод | 86 |
| Заключение | 103 |
| Основные даты жизни и деятельности Г. Н. Каменского | 105 |
| Труды Г. Н. Каменского | 107 |
| Литература о Г. Н. Каменском | 111 |

**Иван Владимирович Гармонов,
Петр Александрович Киселев, Михаил Павлович Толстой
Григорий Николаевич Каменский
(1892—1959)**

Утверждено к печати редколлегией
научно-биографической литературы Академии наук СССР

Редактор издательства *В. П. Большаков*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *Н. Н. Плохова*. Корректоры *Ф. А. Дебабов, Л. П. Соболю*

ИБ № 24271

Сдано в набор 10.06.81. Подписано к печати 13.01.82. Т-02818.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 1. Гарнитура обыкновенная
Печать высокая. Усл. печ. л. 5,88. Усл. кр. отт. 6,1. Уч.-изд. л. 6,4.
Тираж 17400 экз. Тип. зак. 1004. Цена 35 коп.

Издательство «Наука» 117864, ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я тип.издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



*И. В. Гармонов,
П. А. Киселев, М. П. Толстой*

**Григорий Николаевич
КАМЕНСКИЙ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



ВЫХОДИТ ИЗ ПЕЧАТИ КНИГА

Ожигова Е. П.

ШАРЛЬ ЭРМИТ

(1822—1901).

14 л. 45 к.

Книга посвящена жизни и деятельности крупнейшего французского математика второй половины XIX в. Шарля Эрмита, с именем которого связаны многие понятия и методы современной математики. Наибольшую известность принесли ученому его доказательство трансцендентности числа e , основания неперовых логарифмов, решение общего уравнения пятой степени с помощью эллиптических функций и исследования модулярных функций. Эрмит обладал удивительным талантом преподавателя, поддерживал тесные связи с математиками разных стран. Тесная дружба связывала его с П. Л. Чебышевым и его школой.

Для историков математики, математиков, а также преподавателей вузов и студентов.

480091 Алма-Ата, 91, ул. Фурманова, 91/97

370005 Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13

734001 Душанбе, проспект Ленина, 95

252030 Киев, ул. Пирогова, 4

443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2

197110 Ленинград, П-110, Петрозаводская ул., 7-А

117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12

630090 Новосибирск, 90, Морской проспект, 22

620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137

700029 Ташкент, Л-29, ул. К. Маркса, 28

450059 Уфа, ул. Р. Зорге, 10

720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42

310003 Харьков, Уфимский пер., 4/6.

Цена 35 коп.