

622.5
136

Л. З. ЛЕВИ

**ПРОГНОЗ
МАКСИМАЛЬНЫХ
ВОДОПРИТОКОВ
В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ
ВЕРОЯТНОСТНО-
СТАТИСТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ**

НЕДРА 1973

622.5	25826
Л36	Левин Л.З
Прогноз макси-	
мальных водоприто-	
ков	в горных выра-
бегих	0-6616

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выданных _____

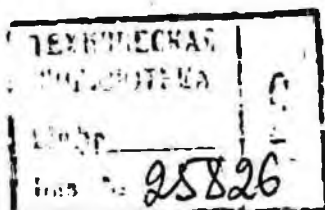
77

2005.

Л. З. ЛЕВИ

622.5
136

ПРОГНОЗ
МАКСИМАЛЬНЫХ
ВОДОПРИТОКОВ
В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ
ВЕРОЯТНОСТНО-
СТАТИСТИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
МОСКВА 1973

Леви Л. З. Прогноз максимальных водопритоков в горные выработки вероятностно-статистическими методами. М., «Недра», 1973, 96 с.

Формирование водопритока в горные выработки рассматривается как нестационарный вероятностный процесс. Анализ его может быть упрощен в том случае, если из совокупности наблюдений выделить тренд и случайные отклонения от него.

Приводятся методы расчета тренда и случайных отклонений в различных природных условиях и с учетом влияния особенностей отработки месторождения. Дается типизация гидрогеологических условий, оказывающих влияние на выбор методов расчета, и рекомендуются методы прогноза максимальных водопритоков для выделенных типовых условий.

Рассматриваются методы, позволяющие в период разведки месторождения учитывать неравномерность питания водоносного горизонта в многолетнем разрезе и по сезонам года.

Дается пример расчета средних и максимальных водопритоков в Миргалымсайский рудник.

Таблиц 10, иллюстраций 28, список литературы 126 названий.

ВВЕДЕНИЕ

Шахтные воды являются серьезным препятствием при разработке месторождений полезных ископаемых. Поэтому важное практическое значение приобретают вопросы расчета и прогноза возможных величин водопритоків, которые необходимо учитывать как для предварительного осушения водоносных пород в период строительства горнодобывающих предприятий, так и при организации водоотливного хозяйства в процессе эксплуатации этих предприятий.

Однако, несмотря на большое значение этого вопроса, до настоящего времени он разработан еще недостаточно полно.

Существующие методы прогноза водопритоків в систему горных выработок по гидродинамическим формулам и с помощью максимальных аналогового моделирования позволяют определять среднегодовые притоки воды, соответствующие некоторым усредненным гидрогеологическим условиям месторождения. Однако мощности водоотливного хозяйства рудников зависят не только от усредненной среднегодовой величины водопритоків в горные выработки, но и от максимальных водопритоків, обычно наблюдаемых в весеннее время.

Для анализа и расчета максимальных водопритоків из множества действующих на всей площади гидрогеологического бассейна факторов автором выделяются основные стокообразующие, которые определяют условия питания водоносного горизонта, обводняющего горные выработки. Прогноз максимальных водопритоків производится по их связи с этими факторами путем использования вероятностных методов.

Особенность применения этих методов для расчета водопритоків заключается в том, что последние в статистическом смысле не являются однородными. Они включают в себя некоторую закономерную функцию (тренд), зависящую от особенностей отработки месторождения в данных гидрогеологических условиях, и случайную компоненту, которая определяется многолетними, годовыми и сезонными изменениями питания водоносных горизонтов, обводняющих горные выработки.

С помощью аналитических формул и аналогового моделирования производится расчет тренда для среднегодовых водопритоків. При определении же максимальных водопритоків помимо тренда

требуется произвести расчет отклонения от него отдельных величин водопритоков, связанных с изменениями питания водоносных горизонтов в многолетнем разрезе, а также учесть их сезонную неравномерность. Эти отклонения могут рассматриваться как случайные переменные, зависящие от гидрометеорологических факторов (атмосферных осадков, речного стока, русловой инфильтрации). Поэтому они рассчитываются с помощью корреляционных связей между водопритоками в горные выработки и указанными гидрометеорологическими факторами и выражаются в величинах заданной обеспеченности.

В предлагаемой работе автор хотел показать, что процесс формирования водопритоков в систему горных выработок можно представить в виде стохастической модели, для решения которой применимы вероятностные методы. Однако математическому решению задачи должен предшествовать анализ геологических, гидрогеологических и гидрологических особенностей района месторождения, а также анализ влияния условий его отработки на изменение величины водопритоков. В соответствии с этим большое внимание уделяется типизации месторождений твердых полезных ископаемых с целью выбора математических методов, учитывающих природные особенности района.

Автор сознает всю сложность вопроса, исследуемого в настоящей работе. Поэтому он не ставит перед собой задачи, исчерпывающей его решение. Цель автора — показать, какие методы математической статистики применимы для прогноза водопритоков в горные выработки, как нужно учитывать гидрогеологические условия месторождений при выборе расчетной математической модели, каковы особенности прогноза максимальных водопритоков в трещинно-карстовых районах и, наконец, дать пример разработки методики вероятностно-статистического прогноза для конкретных гидрогеологических условий Миргалимсайского месторождения.

Глава 4 написана автором совместно с В. Д. Бабушкиным. Автор выражает глубокую благодарность В. Д. Бабушкину, Н. А. Плотникову и С. М. Семенову за ту помощь, которая была ими оказана при выполнении данной работы.

Раздел I

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ ВОДОПРИТОКОВ В СИСТЕМУ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Глава 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В литературе имеются указания на то, что в карстовых районах существует тесная связь между атмосферными осадками и поверхностными водами, с одной стороны, и шахтными водоприитоками — с другой. На это обстоятельство обращали внимание многие исследователи, и в частности: И. А. Печеркин [75, 76], Ю. А. Ежов [32], Ю. П. Коптилов [55] для Кизеловского бассейна; М. С. Газизов [26], М. А. Гатальский [29] для Эстонского сланцевого бассейна; П. А. Серый [86] для Миргалимсайского месторождения.

Однако в большинстве случаев авторы лишь констатировали наличие связи между атмосферными осадками или стоком рек и шахтными водоприитоками, ограничиваясь качественной характеристикой ее.

М. С. Кельманский [45], например, говорит о том, что воды р. Кизел участвуют в питании карстовых вод, а следовательно, проникают и в горные выработки. И. А. Печеркин [75] констатирует, что в Кизеловском районе почти все реки, протекающие по известнякам, на отдельных участках частично или полностью теряют свои воды на инфильтрацию, что оказывает влияние на водоприитоки в шахты бассейна. В. С. Жеваго и П. А. Серый уделяли большое внимание изучению инфильтрации на реках вблизи Миргалимсайского месторождения, поскольку и фильтрационные речные воды попадали в дальнейшем в горные выработки.

Подобные же указания имеются и в работах зарубежных ученых [117; 118; 121; 122].

Многие исследователи, как гидрогеологи, так и гидрологи, уделяли большое внимание изучению особенностей поверхностного и подземного стока в карстовых районах [8; 9; 66; 70; 71; 80; 92]. При этом, если гидрологи в основном занимались вопросом соотношения между поверхностным и подземным стоком и методикой гидрологических исследований в условиях развития карста, то гидрогеологи изучали особенности движения подземных вод в карстовых условиях и связанную с этим вертикальную гидродинамическую зональность карстовых вод.

Однако при расчете и прогнозе водоприиток в горные выработки в условиях распространения карста влияние поверхностных вод

на водоприитоки в достаточной степени не учитывалось. Можно указать лишь на несколько работ, в которых с той или иной полнотой рассматривается этот вопрос.

Так, в работах Н. Ф. Шалагинова [107], И. Н. Кацнельсона и Н. М. Никольской [44] учитываются расстояния от горных выработок до водотоков, коэффициенты фильтрации в направлении к ним, особенности залегания пластов по отношению к речным долинам и другие показатели. Наиболее обстоятельно вопрос о влиянии поверхностных вод на водоприитоки в горные выработки в карстовых районах рассмотрен в работах М. А. Сунцова, М. С. Газизова, Н. Г. Паукера и М. А. Ерёмина. М. А. Сунцов [96] дал прогноз среднегодовой величины водоприитоков в горные выработки СУБРа, исходя из следующей предпосылки: «В результате работы шахтного водоотлива горные выработки оказались наиболее низким и практически единственным базисом дренирования подземных вод бассейна и, следовательно, величина водоприитоков в горные выработки определяется возможными ресурсами бассейна, а прогноз средней величины водоприитоков сводится к определению его ресурсов в изменившихся под влиянием искусственных факторов гидрогеологических условиях». Автор выделил следующие источники формирования ресурсов подземных вод: 1) инфильтрация атмосферных осадков в пределах контуров бассейна; 2) рассредоточенный поверхностный сток из прилегающих областей, поглощающийся в пределах бассейна; 3) подземный сток из горизонтов, развитых по периферии бассейна; 4) сток из соседних карстовых областей по известняковым коридорам; 5) поглощение вод-транзитных рек и других поверхностных водотоков, пересекающих бассейн; 6) вековые запасы подземных вод, содержащиеся в известняковом массиве, ниже зеркала воды горизонта. Расчет водоприитоков автором был проведен по существующим гидродинамическим формулам отдельно для каждого из указанных источников и базировался на детальном изучении природных условий района: поверхностного и подземного стока, инфильтрации, испарения, транспирации и т. д. Приводимая методика прогноза, как подчеркивает автор, требует детального изучения геологических, гидрогеологических и других условий района. Это ограничивает возможности ее применения. К недостаткам этой методики (на это также указывает сам автор) относится то, что «расчеты не учитывают изменение степени интенсивности поступления отдельных источников пополнения ресурсов во времени, в частности — сезонные изменения величины инфильтрации и стока...».

Весьма интересная работа по анализу водоприитоков на Прибалтийском сланцевом бассейне была проведена М. С. Газизовым. Указывая на то, что на водоприитоки в горные выработки существенное влияние оказывает инфильтрация атмосферных осадков, автор рассмотрел способствующие этому оро- и гидрографические условия бассейна, а также изменение величины и режима водоприитоков (коэффициент сезонной неравномерности) в зависимости от

глубины горных выработок и наличия водонепроницаемых прослоев в толще вмещающих карбонатных пород, т. е. в зависимости от степени связи водоносного горизонта с поверхностными водами.

В результате проведенного анализа М. С. Газизов разделил водопритоки в шахты на составляющие (рис. 1): 1) за счет инфильтрации и инфлюации поверхностного стока над отработанной площадью; 2) за счет периодического стока подземных вод, составляющего максимальные притоки воды в шахты (весной и осенью); 3) за счет постоянного стока подземных вод, составляющего «нормальный» приток воды в шахты (включая статические запасы подземных вод). К сожалению, М. С. Газизов не использовал выполненный им анализ для прогноза водопритоков в шахты бассейна.

Впервые попытка дать прогноз максимальных водопритоков в горные выработки по их связи с гидрометеорологическими факторами была предпринята в работе О. Б. Скиргелло и М. А. Поляниной [90] по Эстонскому сланцевому бассейну. Авторы разделили суммарные водопритоки по всем шахтам месторождения на формирующиеся за счет подземных и за счет поверхностных вод и рассчитали отдельно водопритоки каждой группы. Ими был построен график связи между водопритоками, образуемыми за счет поверхностных вод, и зимне-весенними атмосферными осадками. Используя эту зависимость, авторы получили водопритоки заданной обеспеченности по атмосферным осадкам той же обеспеченности. В проведенных авторами расчетах развитие горных работ в процессе отработки месторождения учитывалось путем введения коэффициента, пропорционального отношению периметра горных выработок на конец отработки и в момент выдачи прогноза. Несмотря на то, что с некоторыми расчетами, приведенными авторами, нельзя согласиться, мы считаем важным подчеркнуть, что идея использования связи водопритоков с гидрометеорологическими факторами (атмосферными осадками) для прогноза водопритоков расчетной обеспеченности была высказана впервые в этой работе.

Большое и очень обстоятельное исследование было выполнено Н. Г. Паукером по установлению влияния р. Плюсы на обводненность горных выработок шахт комбината «Сланцы» [74].

В результате анализа полученных материалов Н. Г. Паукер пришел к выводу, что в условиях Ленинградского месторождения сланцев «в режиме шахтного водопритока несомненно сказывается влияние гидрометеорологических факторов, но оно проявляется не сезонно, а в разрезе нескольких лет и не локально — на одном каком-либо участке р. Плюсы, а в масштабе всего ее бассейна». Отмеченный характер влияния гидрометеорологических факторов на режим водопритоков непосредственно обусловлен фильтрационными свойствами различных горизонтов карбонатных пород.

Расчет среднегодовых шахтных водопритоков был выполнен автором по связи последних с подземным стоком в реку, определенным по гидрографу р. Плюсы. Следует заметить, что расчет водопритоков заданной обеспеченности по выбранному автором факто-

ру весьма трудоемок и требует наличия гидрографов за весь период гидрометрических наблюдений на реке.

Среди исследователей, изучавших вопрос о связи между гидрометеорологическими факторами и водопритоками в горные выработки и о возможности использования установленных зависимостей для расчета водопритоков путем применения методов математиче-

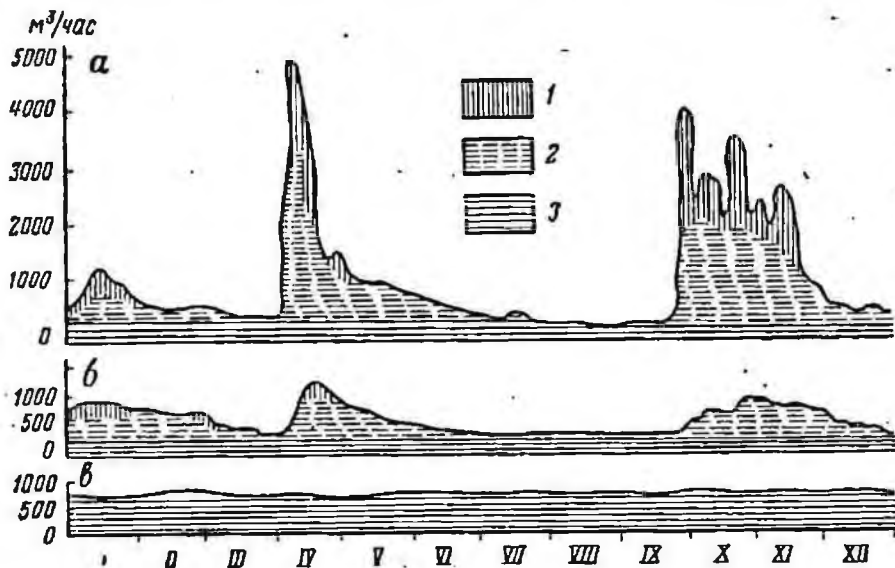


Рис. 1. Графики количества откачанной воды при различной глубине разработки пласта сланцев и схема распределения баланса шахтных вод по источникам питания (по М. С. Газизову)

а) количество откачанной воды при разрабатке на глубине ореола 20—30 м от поверхности; б) то же на глубине 40—50 м; в) то же на глубине более 70 м

1 — Приток шахтных вод за счет инфильтрации и инфлюации вод поверхностного стока над отработанной площадью; 2 — то же за счет периодического стока подземных вод, составляющего максимальные притоки воды в шахты (весной и осенью); 3 — то же за счет постоянного стока подземных вод, составляющего «нормальный» приток воды в шахты (включая статические запасы подземных вод)

ской статистики, следует особо отметить М. А. Ерёмина [34; 35], который проводил свою работу на материалах Кизеловского каменноугольного бассейна. М. А. Ерёмин впервые широко применил корреляционный анализ для установления закономерностей в формировании водопритоков в зависимости от степени влияния поверхностных вод. Как указывает автор, в Кизеловском бассейне в процессе эксплуатации шахт и развития депрессионных воронок активизировалась связь поверхностных и подземных вод, в результате чего влияние рек, протекающих по территории бассейна, на шахтный сток проявилось весьма существенно, в особенности при переходе на глубокие добычные горизонты.

Объектом исследования М. А. Ерёмина являлись среднегодовые шахтные водопритоки и их связь с поверхностным стоком. Автор построил графические зависимости между среднегодовыми водо-

притоками в отдельные шахты и среднегодовым стоком рек, протекающих вблизи этих шахт за весь период их отработки. Он получил корреляционное поле с большим разбросом точек, которые ложились на кривые параболического типа. Детальный анализ последних показал, что статистические данные группируются около трех кривых в хронологическом порядке вследствие перехода работ с горизонта на горизонт. «Причем каждая кривая из этого семейства соответствует определенной стадии эксплуатации шахты: период строительства шахты и работы верхних горизонтов, средняя стадия (средние горизонты) и завершающая (стадия отработки пласта)» [34].

Для каждой из этих стадий полученные уравнения водоприток-ков расчетной обеспеченности решаются путем подстановки в них среднегодовых расходов реки той же обеспеченности. В результате были вычислены среднегодовые шахтные водоприток-ки обеспеченностью $P\% = 5, 10, 25, 50, 75, 95\%$.

Проверка оправдываемости расчетных водоприток-ков проведена для 1964—1965 и 1965—1966 гидрологических лет, для которых определялись абсолютная и относительная ошибки расчета.

Сравнение расчета среднегодовых водоприток-ков, выполненное М. А. Ерёминим и другими авторами (И. А. Печеркиным, Ю. А. Ежовым и В. В. Ивакиным), показало преимущество корреляционного метода. Однако автор не ставил перед собой задачи использовать установленные зависимости для прогноза водоприток-ков при дальнейшей эксплуатации шахт; его интересовала лишь вероятностная оценка водоприток-ков на современной стадии их отработки.

Вторая задача, которую поставил перед собой автор, заключалась в установлении различной степени влияния поверхностных вод на шахтные водоприток-ки при неодинаковом положении горных выработок по отношению к рекам. Для этого определялись коэффициенты корреляции между поверхностным и шахтным стоком по 12-ти вариантам сдвига, т. е. среднегодовые водоприток-ки рассчитывались для года, который начинается с 1 октября (гидрологический год), а речной сток определялся при сдвиге начала года на 1, 2, 3, ..., 12 месяцев.

В результате М. А. Ерёмин получил две группы шахт, для одной из которых наибольший коэффициент корреляции был при сдвиге на 2 месяца, а для другой — на 6 месяцев. Это, по мнению автора, указывает на то, что на одних шахтах, расположенных вблизи рек, влияние последних сказывается в течение 1,5—2-х месяцев (весенний паводок на реках проявляется и в шахтах, только с запаздыванием в 1,5—2 месяца), а на других шахтах, расположенных на водоразделах, такое влияние ослаблено и соответствующие изменения водоприток-ков наблюдаются с запаздыванием на 6 месяцев. Эти исследования позволили автору провести районирование территории Кизеловского бассейна по степени влияния поверхностных вод на шахтные водоприток-ки.

В. Г. Кнерцер применил методы математической статистики для прогнозирования притоков воды в шахты Донецкого бассейна [50]. Он изучал корреляционные зависимости между водопритоками и горно-эксплуатационными факторами: глубиной очистных выработок, длиной выработок по простиранию, установившейся производительностью шахты, площадью выработок, длительностью эксплуатации шахты, мощностью разрабатываемого пласта. При этом anomальные значения притоков, которые определялись влиянием гидрографической сети, из расчета исключались.

Параметр a , входящий в полученные уравнения, по мнению автора, характеризует «наиболее существенные гидрогеологические факторы», основными из которых являются «пликативная тектоника, гидрографическая сеть и литологический состав пород в пределах влияния горных выработок». Для обоснования параметра a В. Г. Кнерцером были проведены специальные исследования, в результате которых определены средние величины этого параметра и построены их изолинии. Проведенный далее автором анализ результатов вычислений показал, что влияние гидрогеологических условий значительно больше, чем влияние горно-эксплуатационных факторов, и что основную ошибку прогноза дают не расчетные формулы по связи водопритоков с горно-эксплуатационными факторами, а необоснованный выбор шахты-аналога, используемой для расчета. Однако такой вывод ставит под сомнение правомерность рекомендуемых им расчетов. Это объясняется, по нашему мнению, тем, что анализ фактических материалов указывает на второстепенное влияние горно-эксплуатационных факторов по сравнению с гидрогеологическими, поэтому для шахт, характеризующихся однотипными тектоническими и литологическими условиями, следует проводить корреляцию шахтных водопритоков не с горно-эксплуатационными факторами, а с поверхностным стоком.

В работах автора [63, 64] рассмотрен вопрос о расчете максимально возможных за весь период отработки месторождения водопритоков в рудник Миргалимсай обеспеченностью 1% и 5%. При этом учитывалось, что горные выработки рудника проходятся в трещиноватых и закарстованных карбонатных породах, а водоносный горизонт, приуроченный к этим породам и обводняющий рудник, имеет тесную связь с поверхностными водами. Поэтому для определения максимальных водопритоков были использованы методы парной корреляции между потерями речных вод на инфильтрацию в пределах развития депрессионной воронки и величиной водопритоков в горные выработки.

Автором [65] приводится расчетное уравнение для краткосрочных прогнозов (с заблаговременностью 1,5—2 месяца) максимальных водопритоков в рудник Миргалимсай в период весеннего снеготаяния. Для этого был использован метод множественной корреляции между рудничными водопритоками и основными гидрометеорологическими факторами, их обуславливающими.

При выводе прогнозного уравнения мы исходили из предполо-

жения, что на руднике Миргалимсай притоки в горные выработки стабилизировались. Это подтверждается фактическими данными.

В работе В. Д. Бабушкина и Л. З. Леви [4] рассмотрен более общий вопрос о применении вероятностных методов при расчетах экстремальных значений водопритоков на таких месторождениях, где режим водопритокков тесно связан с режимом поверхностных вод и атмосферных осадков. При этом были учтены различные стадии отработки месторождения в зависимости от влияния на изменение водопритокков горно-эксплуатационных факторов и обоснованы методы расчленения водопритокков на тренд и случайные отклонения от него. Однако вопросы, поставленные в данной статье, требуют дальнейшего развития при использовании фактических материалов, собранных на месторождениях, характеризующихся различными гидрогеологическими условиями.

Рассмотренными выше работами в основном исчерпывается перечень исследований по вопросам анализа и прогноза водопритокков в горные выработки с учетом связи водопритокков с гидрометеорологическими факторами и применения для этих целей методов математической статистики. Наряду с этим вероятностные методы широко используются в гидрогеологии для анализа и прогноза естественного режима подземных вод.

Необходимо отметить, что в гидрогеологической литературе еще недостаточное внимание уделяется теоретическому рассмотрению вопросов применения методов математической статистики и теории вероятностей, например: исследованию законов распределения характеристик подземного стока и водопритокков, рассмотрению особенностей подземного стока, как вероятностного процесса, изучению применимости методов математической статистики в различных гидрогеологических условиях. Поэтому весьма полезным является использование в этой области достижений смежных наук: геологии и гидрологии.

В геологии вероятностные методы используются для решения целого ряда вопросов: при интерпретации геофизических и геохимических данных, при разведке и подсчете запасов полезных ископаемых, в минералогии и исторической геологии.

Большое внимание уделяется применению математических методов в геологии, и в частности, применению в геологических исследованиях теории корреляции, интерполяционных методов и теории случайных функций. Среди этих работ следует прежде всего указать на работы А. Б. Вистелиуса, в которых обосновывается применение корреляционного анализа при изучении слоеобразования [22], парагенезисов [23] и других вопросов. Он предложил новый в методологическом отношении способ корреляции [21], который заключается в том, что сложную, на первый взгляд незакономерную кривую, являющуюся выражением суммы процессов, разлагают математическим путем на несколько элементарных кривых, из которых каждая отражает действие одного из процессов. Корреляционный анализ выполняется затем для каждой элементарной кривой.

вой. При этом выделяются результаты действия каждого отдельного процесса. Автор теоретически обосновал разложение сложных функций с помощью экспоненциальных полиномов и дал примеры подробного анализа.

Чрезвычайно важными для решения интересующего нас вопроса о прогнозировании рудничных водопритоков являются исследования стационарности геологических процессов и анализ нестационарных явлений. Это очень сложная проблема, которая в настоящее время еще находится в стадии постановки вопроса.

Весьма интересной в этом отношении является работа А. Б. Вистелиуса [24], в которой в общем виде рассматривается «выделение из двухмерной совокупности наблюдений случайной реализации и поверхности математических ожиданий (тренда)».

Указанное расчленение нестационарной функции весьма облегчает анализ сложных процессов и позволяет использовать для этих целей вероятностные расчеты. Метод выделения тренда уже нашел применение в геологических исследованиях, например, в работе С. Н. Чернышева и Л. А. Арновой [105]. Однако следует отметить, что этот метод недостаточно разработан для практического использования. Автором настоящей работы указанный метод применяется для анализа и прогноза водопритоков в условиях нестационарного режима фильтрации.

Методы теории вероятностей и математической статистики получили весьма широкое применение в гидрологии, гидрологических прогнозах, гидротехнике и гидроэнергетике при расчете стоковых и других гидрологических характеристик заданной обеспеченности.

Мы рассмотрим кратко лишь некоторые вопросы, которые стали объектом исследования в последнее время и представляют интерес для решения стоящей перед нами задачи.

В последние годы в гидрологии для расчета наиболее сложных явлений, таких, как максимальные расходы воды в период половодий и паводков, все чаще применяется композиционный метод, предложенный М. В. Великановым. Этот метод заключается в расчленении данного комплексного явления на ограниченное число более простых и не зависящих друг от друга факторов.

При определении расчетной обеспеченности комплексного явления изучаются возможные сочетания этих независимых факторов. По мнению исследователей этого метода, такой способ позволяет теоретически наиболее правильно использовать материалы фактических наблюдений. Однако он довольно трудоемкий и требует длительного ряда наблюдений.

Формирование водопритоков в систему горных выработок также относится к комплексным явлениям. Однако применение для прогноза водопритоков композиционного анализа ввиду его сложности в настоящее время не рекомендуется. Этот вопрос требует специальной разработки на гидрогеологическом материале, но такую разработку можно выполнять только после решения целого ряда более простых задач.

В последние годы в практику расчетов и прогнозов стока все более входят методы, связанные с изучением гидрогеологических явлений, как вероятностных процессов, т. е. упорядоченных во времени. В этом направлении весьма интересные результаты получены Н. А. Картвелишвили [40], Г. Г. Сванидзе [85] и др.

С изучением стока как вероятностного процесса связана разработка целого ряда чрезвычайно сложных вопросов.

Формирование подземного стока и водопритоков в горные выработки также является упорядоченным во времени, т. е. представляет собой вероятностный процесс. Поэтому, очевидно, что решение перечисленных выше вопросов применительно к гидрогеологическим задачам имеет большое значение; оно позволит подойти к прогнозированию подземного стока и водопритоков в горные выработки. Однако решение этих вопросов на высоком теоретическом уровне в настоящее время весьма затруднительно из-за отсутствия статистического анализа имеющегося фактического материала. В предлагаемой работе мы смогли рассмотреть лишь некоторые из указанных вопросов.

Большие работы проводятся гидрологами по разработке методов гидрологических прогнозов, как долгосрочных, так и краткосрочных, а также и по вероятностным методам их оценки. При этом выделяются две группы прогнозов. Первая группа — гидрологические прогнозы строятся на основании информации о стокообразующих факторах и стокоформирующих явлениях (снегозапас, температура воздуха, увлажнение почв и т. п.), имеющейся к моменту выдачи прогноза», и являются, по существу, оценкой средней величины стока за некоторый будущий период. Большинство гидрологических прогнозов дается в настоящее время этими методами.

Вторая группа прогнозов решает задачу о прогнозировании вероятностного процесса, т. е. «о предсказании в момент времени t реализации процесса до момента $t+\tau$, которая в том или ином смысле была бы наилучшей, например, давала бы минимум среднеквадратичной ошибки между действительным значением процесса и его прогнозом». Эти прогнозы строятся на информации о стоке за прошедший период.

Весьма интересным является относящийся ко второй группе динамико-статистический метод прогноза геофизических макропроцессов, разработанный Ю. М. Алехиным [1]. Этот метод заключается в прогнозировании вероятностных стационарных процессов с помощью линейного экстраполирования. Автором получены вполне удовлетворительные результаты при прогнозах речного стока и годовых сумм энергий сильных землетрясений с заблаговременностью 1, 2, 3 и 5 лет. В последние годы этот метод успешно применен и для прогнозирования гидрогеологических процессов [88].

Большая сложность вопросов, исследуемых при помощи вероятностно-статистических методов, и необходимость использования фактического материала привели к широкому использованию цифровых вычислительных машин.

Таким образом, в смежных дисциплинах — геологии и гидрологии в области применения методов теории вероятностей и математической статистики накоплен огромный материал, который должен быть использован при решении гидрогеологических вопросов и, в частности, при прогнозировании водопритоков в систему горных выработок. Однако при использовании достижений смежных наук необходимо учитывать специфику формирования гидрогеологических явлений и особенности их взаимодействия с обуславливающими их факторами.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ СТОКООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕЛИЧИНУ И РЕЖИМ ВОДОПРИТОКОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

§ 1. Прямые и косвенные стокообразующие факторы

Величина и режим водопритоков в горные выработки непосредственно определяются режимом водоносного горизонта, обводняющего горные выработки, фильтрационными свойствами вмещающих его пород, их трещиноватостью и закарстованностью, а также особенностями отработки месторождения: глубиной проходимого горизонта, скоростью проходки, способом отработки — с закладкой выработанного пространства или без нее и т. д.

В условиях ослабленной связи водоносного горизонта с поверхностными водами и атмосферными осадками режим водопритоков характеризуется относительным постоянством, а величина их изменяется по мере развития и углубления горных работ. Наиболее неблагоприятные условия формирования водопритоков наблюдаются там, где водоносный горизонт имеет непосредственную связь с рекой или атмосферными осадками, что наиболее характерно для районов распространения трещиноватых и закарстованных карбонатных пород. В этом случае весьма существенную роль играет изменение питания водоносного горизонта во времени.

В результате повышенной инфильтрации атмосферных осадков и речных вод модуль подземного стока в карстовых районах повышается за счет снижения модуля поверхностного стока.

Поверхностные и подземные воды в районах распространения карбонатных пород по существу представляют единую систему, вследствие чего сезонные и многолетние изменения атмосферных осадков и речного стока быстро передаются подземным водам, вызывая аналогичные колебания режима уровней и расходов потока подземных вод. Эти изменения оказывают влияние на режим водопритоков в горные выработки, которое бывает особенно большим, если поверхностные водотоки протекают вблизи месторождения. Однако отдельно взятые гидрометеорологические факторы не ха-

рактизуют условий обводнения месторождения. Их режим может не отражаться на водопритоках в рудник, что определяется в основном геологическими особенностями данного месторождения.

Геологические и геоморфологические факторы определяют степень воздействия атмосферных осадков и речного стока на режим водопритоков, ибо от них зависит характер взаимосвязи поверхностных и подземных вод; они либо способствуют ей, либо затрудняют ее. В соответствии с этим природные стокообразующие факторы, определяющие степень обводненности горных выработок и режим водопритоков в них, можно разделить на две группы: прямые и косвенные. Климатические и гидрологические факторы, непосредственно влияющие на сезонные и многолетние изменения водопритоков, можно рассматривать, как прямые стокообразующие факторы. Геологические и геоморфологические особенности района месторождения, от которых зависит, в какой степени и как быстро передадутся изменения гидрометеорологических факторов режиму водопритоков в горные выработки, можно рассматривать как косвенные стокообразующие факторы. К ним можно отнести: степень расчлененности рельефа, фильтрационные свойства водоносного горизонта, расположение тектонических зон и карстовых полостей по отношению к поверхностным водотокам и горным выработкам, наличие или отсутствие покровных отложений, перекрывающих водоносные породы, или пропластков с пониженными фильтрационными свойствами; изменение трещиноватости и закарстованности пород как по площади, так и с глубиной и др.

Рассмотрим основные природные стокообразующие факторы двух указанных групп.

Прямые стокообразующие факторы. Климатические факторы. Климатические особенности района, в котором расположено месторождение, во многом определяют условия формирования водопритоков, поскольку от них прежде всего зависит количество и время поступления воды в водоносный горизонт, обводняющий горные выработки. Поскольку вопрос о влиянии метеорологических факторов на режим подземного стока достаточно подробно рассмотрен в гидрогеологической литературе, мы остановимся на нем весьма кратко.

Первостепенное значение среди климатических факторов имеют годовая сумма осадков и их изменение по сезонам, ход температуры воздуха и ее среднегодовая величина, соотношение атмосферных осадков и испарения с поверхности бассейна в целом за год и по сезонам.

Соотношение атмосферных осадков и испарения определяет количество воды, которое тратится на формирование стока (поверхностного и подземного). В соответствии с этим выделяются зоны избыточного, умеренного и недостаточного увлажнения, которые сменяют друг друга по направлению с севера на юг по мере того, как количество атмосферных осадков убывает, а температура воздуха, определяющая величину испаряемости, возрастает.

Весьма важную роль играет и температурный режим воздуха. Устойчивые отрицательные среднегодовые температуры определяют развитие многолетнемерзлых пород, широко распространенных на значительных территориях азиатской части страны и характеризующихся специфическими условиями питания водоносных горизонтов, приуроченных к ним.

Большая часть европейской части страны, юг Западной Сибири, Приморье, Казахстан и часть территории Среднеазиатских республик характеризуются положительными среднегодовыми и отрицательными среднемесячными зимними температурами воздуха, что определяет наличие сезонного промерзания грунтов в холодную часть года. В соответствии с этим атмосферные осадки, выпадающие зимой в виде снега, накапливаются, а при наступлении положительной температуры воздуха весной в период снеготаяния в грунты поступает большое количество влаги, что вызывает подъем уровня грунтовых вод.

Дата перехода среднесуточных температур воздуха через 0° в таких районах весьма характерна и определяет начало роста водопритоков в весенний период. Это обстоятельство было использовано М. С. Газизовым для прогноза водопритоков на Эстонском месторождении сланцев.

Максимальные водопритоки на месторождениях, расположенных в рассматриваемой зоне, определяются не только запасами влаги, накопленными в снежном покрове к началу весны, но и интенсивностью таяния снега, которая зависит от температурных особенностей весны.

В некоторых районах рассматриваемой территории в зимний период наблюдаются кратковременные повышения температуры, вызывающие наступление оттепелей. Это явление отмечается для побережья Финского залива в Ленинградской области, на юге Казахстана и в Среднеазиатских республиках. В период оттепелей часть влаги, накопленной в виде снега, расходуется, что снижает как объем весеннего стока, так и максимальные водопритоки в горные выработки.

Многие районы характеризуются осенним максимумом выпадающих осадков. В соответствии с этим на месторождениях может наблюдаться повышение водопритоков в осенний период, которое иногда бывает довольно значительным (шахты Эстонского месторождения сланцев).

Увеличение поступления воды после начала интенсивных дождей может наблюдаться при соответствующих геологических условиях (о чем будет сказано ниже) уже через несколько часов после их начала, что имеет место, например, на некоторых шахтах Подмосковского бассейна.

Самые южные районы нашей страны характеризуются положительными температурами воздуха в течение всего года. Промерзание грунтов здесь наблюдается лишь спорадически и поэтому существенно не влияет на режим инфильтрации атмосферных осад-

ков. Подъем уровня грунтовых вод непосредственно связан с периодом наиболее интенсивного выпадения осадков и обычно наблюдается в зимние месяцы.

Под влиянием солнечной активности происходит изменение метеорологических элементов в многолетнем разрезе. Вопрос о влиянии циклического характера солнечной радиации на различные явления физико-географической среды, в том числе и на климатические факторы, рассматривался М. И. Будыко [14] и А. В. Шнитниковым [110]. Ими изучались вопросы циклических и вековых колебаний климата, стоковых характеристик, уровней воды в озерах и т. д. Вопрос о связи этих изменений с положением уровня грунтовых вод был достаточно хорошо освещен в литературе. Поэтому мы не будем останавливаться на нем более подробно, а лишь укажем, что его нельзя не учитывать при расчетах водопритоков на весь период отработки месторождения.

Вывод А. А. Коноплянцева о том, что « в ближайшие 15—20 лет на европейской части территории СССР возрастут естественные запасы подземных вод », а также о времени наступления экстремальных значений в положении уровня грунтовых вод, безусловно, представляет для прогноза водопритоков весьма существенный интерес. Анализ максимальных водопритоков в некоторые шахты показал, что по времени наступления и по относительной величине водопритоки в горные выработки хорошо согласуются с прогнозом режима подземных вод.

Многолетние колебания климатических факторов необходимо учитывать при расчетах максимальных водопритоков на весь период отработки месторождения, а также при установлении репрезентативности по водности тех лет, материалы наблюдений по которым используются для прогноза водопритоков. Недоучет указанного явления может привести к существенным ошибкам, например, если прогноз, данный для многоводных лет, был выполнен по материалам, полученным в маловодный период.

Гидрологические факторы. Месторождения, расположенные вблизи поверхностных водотоков и водоемов и обводняемые за счет поступления в горные выработки инфильтрационных русловых вод, отличаются наиболее высокими водопритоками. Режим водопритоков на таких месторождениях тесно связан с режимом поверхностных вод, а поскольку сток рек имеет четко выраженный годовой ход, то и рудничные водопритоки на рассматриваемых месторождениях характеризуются изменениями по сезонам года.

На территории Советского Союза выделяются различные типы режима рек в зависимости от прохождения основных фаз речного стока. Реки большей части европейской территории Союза характеризуются высоким весенним половодьем, вызванным снеготаянием, низкой летней и зимней меженью и повышением стока осенью в период осенних дождей.

Реки Сибири характеризуются весенним половодьем, систематическими летне-осенними паводками и низкой зимней меженью.

На реках Дальнего Востока весеннее половодье, связанное с таянием снега, продолжается затем и летом, что обусловлено сильными муссонными дождями. Поэтому половодье имеет сильно растянутую зубчатую форму. Зимой реки нередко перемерзают.

На реках Средней Азии, питающихся ледниковыми водами, наибольшие расходы наблюдаются весной при таянии снега и летом при таянии ледников в горах.

Наибольшие водопритоки на месторождениях, обводняемых речными водами, отмечаются в период прохождения на реках максимального стока и запаздывают по сравнению с последним на сроки, зависящие от геологических условий района.

Как известно, связь рек с водоносным горизонтом может быть двоякого рода: либо река дренирует водоносную толщу, либо она питает ее. При работе рудничного водоотлива, под влиянием которого формируется депрессионная воронка, реки в пределах развития последней в течение всего года дренируются горными выработками, вне зависимости от того, каким было положение в естественных условиях. Горные выработки при этом становятся местным базисом эрозии. Так, например, обстояло дело на СУБРе, где в естественных условиях поток подземных вод дренировался реками Вагран, Калья и Сосьва. К 1946 г. базис дренажа переместился в горные выработки, и указанные реки превратились в источник питания водоносного горизонта, обводняющего рудное поле, причем поглощение речного стока непрерывно возрастало в течение многих лет.

На Прибалтийском сланцевом бассейне в естественных условиях областью дренажа являлись Финский залив, Чудское озеро, реки и ручьи района. В результате же работы шахтного водоотлива базисом дренажа стали горные выработки. Аналогичное явление отмечалось в Кизеловском бассейне и на других месторождениях.

Потери речных вод на инфильтрацию в значительной мере определяются водопроводимостью аллювиальных и коренных пород и бывают наиболее существенными в районах развития карста или при пересечении долиной реки зон тектонических нарушений. Величина речных потерь в пределах развития депрессионной воронки постепенно, по мере развития последней, возрастает, достигая некоторого максимума, определяемого расходами реки и водопроводящими свойствами фильтрующей среды.

Как справедливо подчеркивает Н. И. Плотников [80], питание водоносного горизонта за счет русловой инфильтрации, а также распределение инфильтрационных речных вод в массиве карбонатных пород существенно различаются в зависимости от того, являются ли реки района постоянно или периодически действующими подоточками. В первом случае питание водоносного горизонта происходит постоянно, хотя и значительно меняется по величине в течение года. Во втором случае питание водоносного горизонта инфильтрационными речными водами часть года отсутствует. В результате этого естественные запасы подземных вод срабатываются

в большей степени, вызывая значительное понижение уровня подземных вод в меженный период. Эта сработка компенсируется затем в период паводка. Поэтому при периодически действующих водотоках амплитуда колебания уровней подземных вод в течение года существенно возрастает. Это влечет за собой соответствующие изменения водопритоков в рудник, снижая меженные водопритоки и увеличивая годовую амплитуду.

Примером месторождения, обводняемого периодически действующими водотоками, является Миргалимсайское, а постоянно действующими — СУБР и отдельные шахты Кизеловского бассейна.

Сток рек, так же как и метеорологические факторы, подвержен циклическим изменениям в многолетнем разрезе, связанным с изменением солнечной активности, что необходимо учитывать при его использовании для прогноза рудничных водопритоков.

Поскольку многолетние и сезонные характеристики речного стока тесно связаны с изменением климатических факторов и поскольку и те, и другие оказывают одинаковое влияние на режим водопритоков в горные выработки, в дальнейшем мы будем говорить о гидрометеорологических факторах, используя для прогноза водопритоков те из них, которые дают лучшие результаты в конкретных природных условиях изучаемого месторождения.

Косвенные стокообразующие факторы. Геоморфологические факторы. Если общее количество влаги, поступающей на поверхность водосбора, определяется соотношением атмосферных осадков и испарения, то распределение этой влаги между поверхностным и подземным стоком в значительной мере зависит от характера поверхности, на которую выпадают осадки — расчлененности рельефа и уклонов местности, глубины эрозионного вреза, густоты речной сети, а также растительного покрова.

Условия, благоприятствующие быстрому стеканию выпавших атмосферных осадков в поверхностные водотоки, приводят к увеличению модулей поверхностного стока за счет подземного. Такими условиями прежде всего являются сильная расчлененность рельефа и большие уклоны местности. Наоборот, при плоском рельефе с замкнутыми понижениями создаются наиболее благоприятные условия для инфильтрации в грунт выпавших атмосферных осадков. В этом случае устанавливается наиболее тесная связь между водопритоками в горные выработки и величиной атмосферных осадков, примером чего являются отдельные шахты Эстонского сланцевого бассейна.

Формы рельефа дневной поверхности существенно влияют на степень обводнения месторождений; поскольку они отражаются на условиях циркуляции и глубине залегания водоносных горизонтов. Горные выработки в районах с сильной расчлененностью рельефа отличаются большей обводненностью и большей сезонной неравномерностью водопритоков, чем выработки в условиях плоского рельефа местности. Так, например, П. П. Климентов указывает, что в Донбассе на участках шахтных полей с сильно развитой овражно-

балочной системой приток воды в горные выработки может достигать в отдельные периоды 200% от среднегодовой величины, в то время как при спокойном рельефе сезонные колебания обычно не превышают 20—30%.

Обводненность месторождения зависит от его положения по отношению к местному базису эрозии. Если горные выработки пройдены выше местной гидрографической сети, то вмещающие породы хорошо дренируются и водопритоки будут незначительны.

Если же горные выработки расположены ниже отметок русел рек данного района, то в процессе развития рудника они превратятся в местный базис дренажа и примут почти весь поток подземных вод.

Геологические факторы. Величина и режим водоприток в горные выработки в значительной степени определяются фильтрационными свойствами водоносного горизонта, обводняющего горные выработки, и степенью его связи с поверхностными водами.

На степень этой связи большое влияние оказывает литологический состав пород, слагающих водоносный горизонт и зону аэрации, который в значительной степени определяет скорость и амплитуду изменения уровня подземных вод.

Наиболее благоприятные условия для связи с поверхностными водами имеют водоносные горизонты, приуроченные к карбонатным породам. Их характерной особенностью является развитие региональной и локальной трещиноватости, а также широкое распространение карста. Трещины и карстовые пустоты являются путями циркуляции подземных вод, часто гидравлически между собой связанных и во многих случаях представляющих единый водоносный горизонт.

Условия связи между подземными и поверхностными водами значительно ухудшаются, если карбонатные породы перекрываются менее водопроницаемыми породами или в них содержатся пропластки с худшими водопроводящими свойствами.

Так, на СУБРе трещинно-карстовые воды в известняках разделены на несколько горизонтов наклонно залегающими лачками карбонатных пород с пропластками глинистых сланцев. Наличие отдельных водоносных горизонтов придает депрессионной поверхности подземного потока ступенчатый вид.

В Прибалтийском сланцевом бассейне обводненность отдельных шахт и амплитуда в изменении водоприток в течение года существенно различны для шахт Эстонского бассейна, где карбонатные породы выходят непосредственно под четвертичные отложения, а также на шахтах Ленинградского бассейна, где они перекрываются мергелями наровских слоев девона (рис. 2).

Как указывает М. С. Газизов [27], на режим подземных вод рассматриваемого района большое влияние оказывают прослои мергеля и бентонитоподобной глины в известняках и доломитах ордовика.

Исследования Н. Г. Паукера на Ленинградском месторождении сланцев показали, что именно эти условия определяют большую равномерность водопритоков в горные выработки, несмотря на то, что р. Плюсса протекает по карбонатным породам непосредственно на площади месторождения.

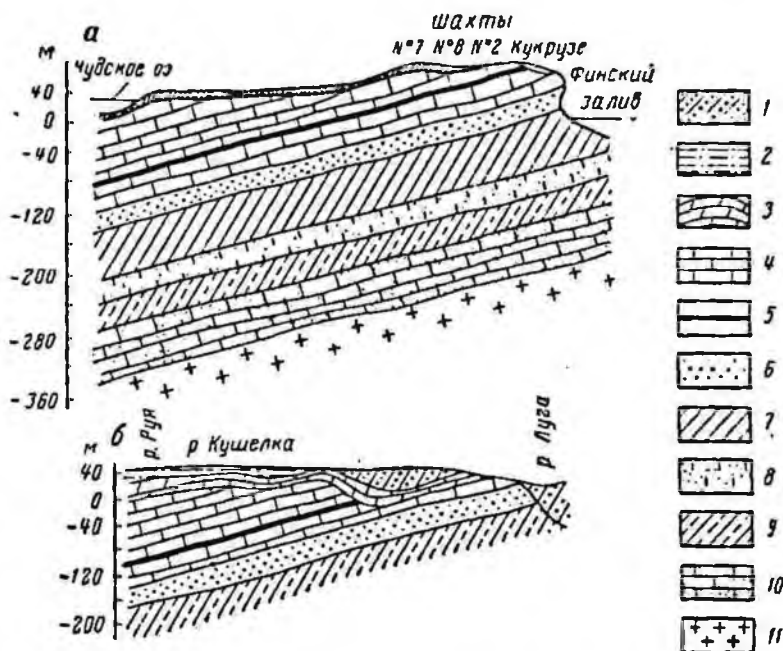


Рис. 2. Меридиональные геологические разрезы (по М. С. Газизову) а) Эстонское месторождение; б) Ленинградское месторождение.

1 — Четвертичные отложения; 2 — пески, песчаники девона; 3 — мергели наровских слоев девона; 4 — известняки, доломиты и доломитизированные известняки ордовика и силура; 5 — промышленный пласт горючих сланцев; 6 — оболовый песчаник; 7 — толща кембрийских синих глин; 8 — песок и песчаник лампнаритовой толщи; 9 — глина лампнаритовой толщи; 10 — песчаник гдовского горизонта; 11 — гранито-гнейсы

Влияние инфильтрации атмосферных осадков и речного стока на режим водопритоков в горные выработки в зависимости от различных геологических факторов М. С. Газизов показал с помощью «степени сезонной неравномерности» (рис. 3), под которой понимается отношение величины максимального притока к величине нормального притока.

На рисунках 1 и 3 видно, что чем глубже расположены горные выработки на шахтах Прибалтийского бассейна, тем меньше их водообильность и меньше коэффициент сезонной неравномерности. Наибольшими эти показатели являются для шахт, расположенных до глубин 25—30 м, поскольку до этих глубин распространен поверхностный карст, играющий большую роль в поглощении атмосферных и талых вод.

С возрастанием глубины расположения горных выработок вли-

яние изменения гидрометеорологических факторов уменьшается, что влечет за собой уменьшение степени сезонной неравномерности. Причем, как видно на рис. 3, коэффициент сезонной неравномерности резко падает на глубинах, к которым приурочены пропластки пород с пониженными фильтрационными свойствами.

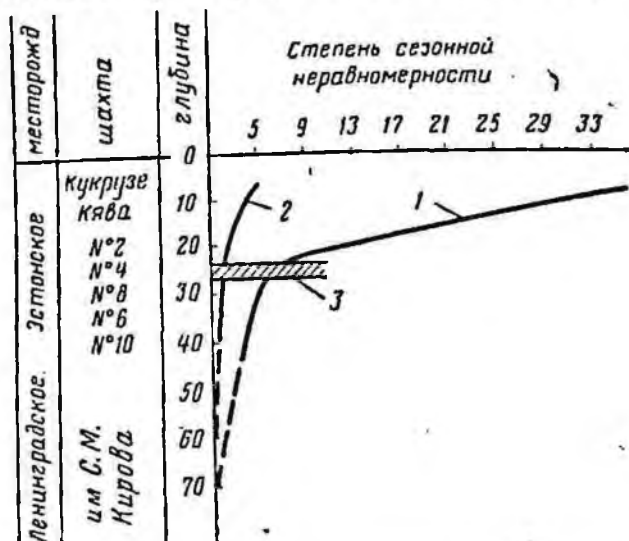


Рис. 3. График изменения степени сезонной неравномерности притока шахтных вод в зависимости от глубины сландевого пласта по среднесуточным (1) и среднемесячным (2) данным; 3 — приблизительное положение водоупорных прослоек среди известняков ордовика (по М. С. Газизову)

Величина водопритокков в отдельные горные выработки тесно связана с изменением трещиноватости и закарстованности вмещающих пород по площади и глубине.

Г. Г. Малеваный исследовал изменение коэффициента сезонных колебаний для шахт Донбасса. Вычисленные им коэффициенты для различных по глубине шахт Донбасса показали, что влияние сезонных изменений гидрометеорологических факторов распространяется до глубин порядка 350 м. Это автором связывается с изменением трещиноватости вмещающих пород на глубину. По коэффициенту сезонных колебаний Г. Г. Малеваный определяет положение по глубине зон активного водообмена и замедленной циркуляции подземных вод.

Обычно наблюдаемое уменьшение трещиноватости и закарстованности карбонатных пород с глубиной приводит к ослаблению влияния гидрометеорологических факторов и тем самым к уменьшению коэффициента сезонных колебаний. Однако в связи с развитием зон обрушения неравномерность водопритокков на более глубоких горизонтах может увеличиться.

Большое значение для режима водопритокков в горные выработки, пройденные в трещиноватых и закарстованных карбонатных по-

родах, имеет расположение крупных тектонических зон и карстовых полостей по отношению к областям питания и разгрузки подземных вод.

При обводнении месторождения речными инфильтрационными водами наличие тектонических зон между рекой и рудником способствует наиболее быстрому поступлению воды в горные выработки и вызывает резкое возрастание водопритоков в период паводка. Так на Миргалимсайском месторождении от р. Баялдыр к стволам шахты Глубокой на IX горизонте проходит так называемый межформационный срыв, по которому в период паводка поступает до 2800 м³/ч воды. Чем больше закарстованность и трещиноватость вмещающих карбонатных пород, тем более резко происходит рост водопритоков в период подъема паводка и тем больше максимальные величины водопритоков.

С возрастанием закарстованности и трещиноватости увеличивается также аккумулирующая емкость массива и его регулирующая роль. В соответствии с этим спад водопритоков после прохождения пика паводка происходит более медленно, а меженные водопритоки увеличиваются.

§ 2. Влияние природных и горно-эксплуатационных факторов на изменение водопритоков в горные выработки на различных этапах отработки месторождения

В результате работы водоотлива из системы горных выработок естественный поток подземных вод претерпевает существенные изменения. Вокруг горных выработок возникает депрессионная воронка, которая формируется постепенно, по мере развития горных работ.

В начальный период откачки в условиях неустановившегося режима фильтрации происходит непрерывный рост воронки депрессии. В этот период наблюдается быстрое возрастание водопритоков за счет сработки статистических запасов подземных вод и вовлечения в зону влияния рудничного водоотлива дополнительных объемов подземных вод за счет динамических ресурсов.

В дальнейшем скорость расширения депрессионной воронки постепенно затухает. Роль сработки статических запасов становится незначительной, и формирование водопритоков происходит почти исключительно за счет динамических ресурсов подземных вод, имеющих постоянные источники питания (инфильтрация атмосферных осадков на участках выходов водоносных пластов на дневную поверхность, поглощение вод поверхностных водотоков и водоемов, подток из смежных структур).

М. В. Сыроватко указывает, что горные выработки оказывают дренажное влияние на водоносный горизонт в течение всего пе-

риода работы горного предприятия. Однако «для того, чтобы депрессионная кривая достигла своего максимального значения и распространилась до контура питания, потребуется значительно меньший отрезок времени». Очевидно, что величина радиуса депрессии будет являться функцией продолжительности работы водоотлива, имея в пределе контур питания. Такими контурами могут считаться: река или другой постоянный водоток, крупное обводненное тектоническое нарушение, смежные затопленные горные выработки и др.

Скорость роста и размеры депрессионных воронок для различных геологических и гидрогеологических условий непостоянны; они зависят от геологической структуры месторождения, мощности и распространения водоносных горизонтов, водоотдачи и коэффициента фильтрации вмещающих пород, величины динамического притока к горным выработкам, продолжительности водоотлива и других факторов.

М. В. Сыроватко, рассматривая характер подземного потока, возникающего в результате водоотлива из системы горных выработок, выделяет три фазы водоотлива. I и II фазы относятся к периоду формирования воронки депрессии (неустановившийся режим фильтрации). III фаза наступает после того, как депрессионная воронка в основном или полностью сформировалась (квазистановившийся или установившийся режим фильтрации), в результате чего произошла стабилизация рудничных водопритоков.

Стабилизацию водопритоков, характерную для третьей фазы, не следует понимать как постоянство водопритоков. В этот период могут наблюдаться медленные изменения среднегодовых водопритоков в шахту, вызванные возрастанием площади и глубины горных выработок. На этом фоне происходит колебание водопритоков, как в годовом (по сезонам года), так и в многолетнем разрезе, обусловленное режимом питания водоносного горизонта за счет выпадающих атмосферных осадков и инфильтрации поверхностных вод.

Таким образом, в процессе отработки месторождения выделяются два периода, отличающихся величиной и режимом водопритоков в систему горных выработок и теми факторами, которые оказывают основное влияние на изменение водопритоков.

В первый период отработки месторождения наблюдается постоянный рост среднегодовых водопритоков, обусловленный развитием рудника и происходящий при интенсивном развитии депрессионной воронки. В этот период основное влияние на изменение среднегодовой величины водопритоков оказывают горно-эксплуатационные факторы (площадь и глубина отработки, вскрытие новых водообильных трещин, производительность и длительность эксплуатации шахты и др.), а условия питания водоносного горизонта, как правило, не имеют существенного значения.

Во второй период отработки месторождения, наступающий обычно через несколько лет, когда воронка депрессии в основном

сформировалась, непрерывное возрастание среднегодовых водопритоков прекращается, их величина начинает изменяться в соответствии с изменением водности отдельных лет, которая определяет условия питания водоносного горизонта, обводняющего горные выработки. Поэтому основное значение приобретают гидрометеорологические факторы, в то время как влияние горно-эксплуатационных факторов становится второстепенным.

Выше отмечалось, что время перехода от первого ко второму периоду отработки зависит от геологических и гидрогеологических условий, определяющих скорость развития депрессионной воронки, а также от наличия соответствующих контуров питания, обуславливающих предельное ее распространение. В этом отношении весьма существенную роль играют граничные условия водоносного горизонта, обводняющего горные выработки.

В неограниченном пласте воронка депрессии будет формироваться наиболее продолжительное время. Соответственно этому дольше будет протекать первый период отработки. В ограниченном пласте воронка депрессии быстро достигает границ бассейна, быстрее установится стационарный режим фильтрации и, следовательно, быстрее скажется роль гидрометеорологических факторов в режиме водопритоков.

В полуграниченном пласте, когда одной из границ является река, сезонные и годовые изменения ее стока начинают играть существенную роль в режиме рудничных водопритоков, как только воронка депрессии распространится до реки.

Таким образом, форма и размер водоносного горизонта, а также характер его границ наряду с другими условиями определяют воздействие горно-эксплуатационных и гидрометеорологических факторов на динамику водопритоков.

Время, необходимое для установления квазистационарного или стационарного режима, зависит также от изменения с глубиной закарстованности и трещиноватости. Чем быстрее последние убывают с глубиной, тем раньше стабилизируются водопритоки, т. е. тем раньше проявляется роль гидрометеорологических факторов.

Глава 3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ПРОГНОЗУ ВОДОПРИТОКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

§ 1. Обоснование возможности применения теории вероятностей и математической статистики для анализа и прогноза водопритоков в горные выработки

Формирование подземного стока и водопритоков в горные выработки представляет весьма сложный процесс, который зависит от

совокупности действующих факторов. Основные из этих факторов были рассмотрены нами в предыдущей главе.

Поскольку величина и характер изменения водопритоков в горные выработки определяются природными особенностями района и условиями отработки месторождения, они являются закономерными. Однако процесс формирования водопритоков происходит под влиянием множества факторов и зависит от их сочетания. В этом проявляется элемент «случайности», который делает характеристики изучаемых явлений в каждый отдельный момент времени, по выражению М. А. Великанова, «теоретически неповторимыми».

«Случайность» в таком понимании является выражением объективной связи между подземным стоком и водопритоками в горные выработки, с одной стороны, и множеством условий, их определяющих, с другой, т. е. «случайность» изучаемого явления вызвана его многофакторностью.

Подобное понимание «случайности» было сформулировано А. Н. Колмогоровым [52] и развивается в работах его учеников. Так же понимается «случайность» при анализе интегральных элементов физико-географической среды, которые «принципиально не допускают массового повторения при сходных внешних условиях», т. е. не являются случайными с точки зрения классической теории вероятностей.

Процессы, исследуемые в связи с изучением формирования подземного стока и водопритоков в горные выработки, могут быть выражены известными законами физики. Для такого решения требуется большая детализация в измерении множества действующих факторов, в особенности, если необходимо определить водопритоки при возможных наиболее неблагоприятных сочетаниях этих факторов. Такая детализация может быть вообще практически несуществима.

Поскольку нас интересует суммарный эффект всех процессов (общая величина водопритоков в горные выработки), то, рассматривая их как «массовую совокупность элементарных физических явлений», имеющую случайный характер, мы получаем возможность для анализа и прогноза изучаемых явлений применять методы теории вероятностей и математической статистики.

Принципиальное обоснование применению методов математической статистики для расчета колебаний водопритоков в систему горных выработок, так же как и для анализа других многофакторных систем, дает центральная предельная теорема. Она указывает на то, что если случайная величина x представляет собой функцию большого числа n независимых между собой переменных, то, каковы бы ни были законы распределения отдельных независимых переменных, распределение величины x стремится при $n \rightarrow \infty$ к нормальному закону (или близкому к нему).

Эта теорема была сформулирована Бернулли и Лапласом. Позднее А. А. Марков и С. Н. Бернштейн показали, что централь-

ная предельная теорема теории вероятностей выполняется и для частично зависимых слагаемых.

Таким образом, центральная предельная теорема позволяет изучать интегральное воздействие многих факторов в многофакторных явлениях до того, как будет изучено влияние каждого фактора в отдельности.

Из сказанного следует, что применение методов математической статистики при анализе и расчете подземного стока и водопритоков в горные выработки как многофакторных процессов, может дать весьма положительные результаты. Однако в гидрогеологии для этих целей методы математической статистики стали применяться лишь в последние годы.

Однако при этом нужно иметь в виду, что процесс формирования рудничных водопритоков является наиболее сложным из рассматриваемой группы явлений, так как он определяется не только особенностями подземного стока и его питания в зависимости от гидрометеорологических факторов, но также и горно-техническими условиями, изменяющимися во времени при отработке месторождения. Поэтому водопритоки в горные выработки представляют собой нестационарный вероятностный процесс. Эту особенность формирования необходимо учитывать при прогнозах величины водопритоков.

Весьма кратко остановимся на некоторых элементах теории вероятностных процессов, которые характеризуются упорядоченностью во времени изменений случайной переменной. Если говорится о вероятностном процессе, то каждому возможному значению параметра t соответствует не одно элементарное событие, а множество их. Отсюда ясно, что случайные события можно считать частными случаями вероятностных процессов.

Когда вероятностный процесс наблюдается в действительности, то для каждого значения t фиксируется одно элементарное событие, т. е. мы наблюдаем некоторую, вполне определенную реализацию этого процесса. Вероятностный процесс $\xi(t)$ характеризуется тем, что функции распределения изменяются во времени. Поэтому в общем виде он является нестационарным. Если функции распределения не зависят от t , то рассматриваемый процесс называется стационарным. Для анализа стоковых характеристик немалое значение имеет частный случай нестационарного процесса, когда функции распределения являются периодическими с некоторым периодом T . Такой нестационарный процесс называется гармонизируемым. Стационарный процесс можно рассматривать, как частный случай гармонизируемого, причем в качестве периода можно взять любое число.

Нестационарный вероятностный процесс часто может быть представлен в виде некоторого детерминированного процесса $u(t)$ (или суммы детерминированных процессов), определяемого физической сущностью изучаемого явления, и собственно вероятностным

процессом $\eta(t)$, отражающим изменение случайных величин, т. е.

$$\xi(t) = u(t) + \eta(t). \quad (1)$$

При этом функцию $u(t)$ удастся подобрать таким образом, чтобы процесс $\eta(t)$ оказался более простым, чем $\xi(t)$.

В американской литературе детерминированная составляющая обозначается термином «тренд». Р. Миллер и Дж. Кан [69] определяют «тренд» как «любую закономерность в упорядоченной последовательности чисел». В последние годы этот термин стал широко использоваться и в отечественной литературе.

Тренд представляет собой поверхность математических ожиданий, выделенную из наблюдаемой реализации. После выделения тренда случайная функция приобретает постоянное математическое ожидание для любого момента времени, сохраняя прежнюю дисперсию. В результате этого параметры случайной функции не зависят от того, к какому периоду рассматриваемого вероятностного процесса относится наблюдаемая реализация.

Поверхностный и подземный сток можно рассматривать как нестационарные процессы, включающие периодические функции: многолетнюю, обусловленную периодичностью в изменении стока под влиянием цикличности солнечной деятельности, и годовую, связанную с сезонностью элементов водного баланса.

При анализе изменения водопритоков в горные выработки помимо многолетней и годовой периодических функций необходимо выделить также детерминированную функцию, которая определяется изменением режима фильтрации (неустановившийся и установившийся режим) в данных геологических и гидрогеологических условиях и при существующих горнотехнических особенностях отработки месторождения.

Поскольку при изучении среднегодовых рудничных водопритоков годовая функция из рассмотрения исключается, а многолетняя обычно при относительно коротком ряде наблюдений за водопритоками выражается не в виде периодической функции, а в виде тенденции (знак тенденции может меняться), то при статистическом анализе и прогнозе водопритоков в горные выработки, последние целесообразно рассматривать в общем случае в виде следующих функций: а) закономерной (детерминированной) функции (тренда), которая определяется интенсивностью отработки месторождения в данных геологических и гидрологических условиях и б) случайной (собственно вероятностным процессом), которая выражается величинами, определяемыми разностью между фактическими водопритоками и трендом (рис. 4).

При наличии соответствующих материалов наблюдений тренд может быть рассчитан по известным гидродинамическим формулам, а при большой фильтрационной неоднородности вмещающих пород с применением аналогового моделирования. При отсутствии необходимых для этого данных, но при наличии ряда фактических среднегодовых водопритоков, он рассчитывается с помощью поли-

номов различных порядков, т. е. по параболической кривой вида:

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n. \quad (2)$$

При этом порядок полинома определяется в зависимости от совпадения его с фактической кривой водопритоков и от объема статистической выборки.

Значения случайной функции определяются как отклонения фактических водопритоков от тренда. Они подвергаются статисти-

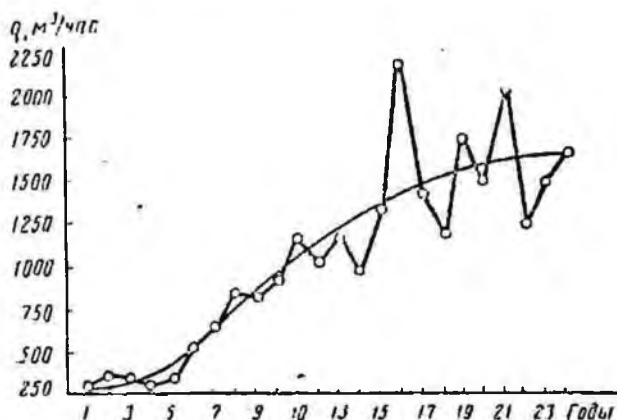


Рис. 4. Фактические водопритоки в шахту и их детерминированная составляющая (тренд)

ческому анализу и могут рассматриваться в качестве случайных величин, зависящих от гидрометеорологических факторов. При этом тенденция в изменении водопритоков в результате многолетней цикличности гидрометеорологических факторов автоматически учитывается в уравнениях регрессии.

Из вышесказанного ясно, что наиболее общим методом расчета максимальных среднегодовых водопритоков в систему горных выработок является комплексный расчет, при котором одним из указанных выше методов определяется тренд — изменение водопритоков при средних условиях питания водоносного горизонта. Водопритоки за счет дополнительного питания в чрезвычайно многоводные годы устанавливаются путем расчета «случайных» составляющих, выполняемого методами математической статистики. В частных случаях, когда влияние гидрометеорологических факторов на изменение водопритоков незначительно, случайную составляющую определять нет необходимости и следует ограничиться обычно применяемыми в гидрогеологии аналитическими методами и моделированием. Если же на месторождении довольно быстро происходит стабилизация водопритоков, и основные их изменения обусловлены влиянием гидрометеорологических факторов, то тренд можно принять в виде прямой линии, параллельной оси времени. В этом случае прогноз водопритоков выполняется путем одной лишь статистической обработки наблюдаемых данных.

§ 2. Типы решения задач по прогнозированию водоприток в горные выработки

Среди задач по расчету и прогнозу возможных максимальных среднегодовых водоприток в горные выработки с помощью методов математической статистики выделяются два типа решений в зависимости от продолжительности фактических наблюдений за водоприитоками: а) при достаточно длинном ряде наблюдений расчет максимальных водоприиток производится по кривой обеспеченности, параметры которой определяются по фактическим данным; б) при коротком ряде наблюдений максимальные водоприитоки рассматриваются в зависимости от одного из основных стокообразующих факторов, т. е. применяется метод парной корреляции.

Рассмотрим в общем виде указанные типы решения задач.

При длинном ряде наблюдений за водоприитоками расчет максимальных водоприиток может быть выполнен по кривым обеспеченности. Методы такого расчета широко освещены в литературе, и мы на них останавливаться не будем. Необходимо подчеркнуть лишь, что результаты этих расчетов зависят от принятого типа распределения исследуемой переменной, в данном случае рудничных водоприиток.

Вопрос о типах распределения водоприиток в настоящее время еще не изучен. Поэтому мы считаем необходимым указать в данной работе на исследования Г. П. Калинина [37], который рассмотрел вопрос о применимости различных типов кривых распределения в зависимости от условий формирования стока.

Г. П. Калинин исходил из того, что для большинства природных явлений функции распределения описываются биномиальным законом. Обоснование применимости биномиальных кривых при изучении годового стока выполнено Д. Л. Соколовским [93].

Как известно, биномиальный закон имеет следующий вид:

$$P_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} P^m (1-P)^{n-m},$$

где n — число всех случаев,

m — число случаев, которые должны совершиться.

При этом для различных соотношений P и $1-P=q$ получаются различные законы распределения: симметричные и ассиметричные.

Доказано, что при большом числе биномиальная кривая стремится к нормальной кривой распределения.

Исследуя вопрос о типах кривых распределения стоковых характеристик, Г. П. Калинин рассматривал биномиальный закон распределения для различных соотношений P и q . При этом автор изучал процессы как поверхностного, так и подземного стока.

Г. П. Калинин показал, что, если продолжительность действия

некоторого стокообразующего фактора (например, дождливых периодов) и продолжительность отсутствия его действия сходны по величине, то кривая распределения будет близка к симметричной ($p=q$).

В соответствии с этим распределение годового поверхностного стока в засушливых областях с малой продолжительностью осадков характеризуется большой асимметрией, а в зонах избыточного увлажнения — относительно малой асимметрией.

Теоретические исследования Г. П. Калинина показали, что распределение характеристик подземного стока должно быть близким к нормальному. Однако этот вывод требует подтверждения путем анализа фактического материала.

Вывод Г. П. Калинина, убедительный для подземного стока, применим для водопритоков в горные выработки, по-видимому, лишь в условиях установившегося режима фильтрации. Задача гидрогеологов состоит в изучении наиболее характерных типов распределения водопритоков. В этом плане можно указать на работу В. Г. Кнерцера, который получил логнормальный закон распределения водопритоков на шахтах Донбасса.

Изучению типа распределения водопритоков должен предшествовать анализ стационарности ряда. В том случае, если ряд нестационарен, необходимо предварительно выделить из него детерминированную составляющую и лишь после этого изучать распределение случайных величин.

При коротком ряде наблюдений за водопритоками, что чаще всего встречается на практике, прогноз максимальных водопритоков в горные выработки может быть выполнен при использовании гидрометеорологических характеристик, имеющих более длинный ряд наблюдений. Для этого устанавливаются зависимости между величинами водопритоков в горные выработки и гидрометеорологическими факторами (атмосферными осадками, поверхностным стоком, русловой инфильтрацией из рек), характеризующими изменение условий питания исследуемого водоносного горизонта.

Возможность применения гидрометеорологических факторов для прогноза водопритоков связана с тем, что вода, притекающая к горным выработкам, и гидрометеорологические факторы являются элементами единого водного баланса гидрогеологического бассейна. Поэтому при прочих равных условиях среднегодовые величины водопритоков могут рассматриваться, как зависимые переменные, определяемые годовой характеристикой гидрометеорологических факторов.

Рассматриваемые зависимости имеют стохастический характер. Как известно, стохастическая связь состоит в том, что одному значению переменной A может соответствовать несколько разных значений переменной B с различными вероятностями.

Стохастическая зависимость обусловлена либо тем, что не все факторы, оказывающие влияние на переменную A , учитываются при установлении данной связи, либо тем, что на рассматриваемые

переменные действуют, кроме общих факторов, также и такие, которые оказывают влияние только на одну из них.

В результате этого связь между переменными A и B проявляется в виде тенденции.

При наличии стохастической связи между явлениями, изменения одной переменной можно прогнозировать по изменениям другой или других переменных с определенной вероятностью.

Поскольку формирование водопритоков в горные выработки является сложным многофакторным процессом, зависимость между ними и определяющими их факторами является стохастической, а методы корреляционного анализа могут быть использованы для их прогноза. Для этого производится статистическая обработка принятого для расчета гидрометеорологического ряда, в результате которой определяются значения гидрометеорологической характеристики требуемой обеспеченности.

Для рудничных водопритоков и данной гидрометеорологической характеристики за период совместных наблюдений строится график связи и по формуле (3) определяется коэффициент корреляции r .

$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

где x_i и y_i — значения водопритоков в горные выработки и выбранного гидрометеорологического фактора за отдельные годы;

$\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние многолетние значения тех же величин.

Зависимость между исследуемыми явлениями считается достаточно тесной, если r по абсолютному значению более 0,7.

Однако при коротком ряде наблюдений коэффициент корреляции для обеспечения достаточной точности расчета должен быть более высоким. Например, при $n=10$ r должен быть не менее 0,86, при $n=7$ — не менее 0,91, при $n=5$ — не менее 0,95.

При достаточно высоком коэффициенте корреляции и прямолинейном характере зависимости рассчитывается уравнение регрессии, имеющее вид

$$y_i - \bar{y} = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum (x_i - \bar{x})^2} (x_i - \bar{x}). \quad (4)$$

Если зависимость криволинейная, то в большинстве случаев ее можно превратить в прямолинейную, например, с помощью логарифмических преобразований. Подставив в полученное уравнение регрессии выбранную при анализе формирования водопритоков гидрометеорологическую характеристику заданной обеспеченности, получим соответствующую величину водопритоков в рудник, которой придается та же обеспеченность. При этом используется «метод равных повторяемостей», предложенный и обоснованный Б. И. Срезневским [94; 95]. Этот метод основан на допущении подобия кривых распределения величин x и y и состоит в том, что

в двух сравниваемых рядах приравниваются друг другу величины x_i и y_i , которым придается одинаковая вероятность.

При использовании корреляционного анализа для прогноза водопритоков необходимо оперировать со статистически однородными величинами. Поэтому «исключение длительно-действующего фактора при вычислениях корреляции» [94], т. е. детерминированной функции, имеет существенное значение. Поскольку прогноз водопритоков имеет вероятностный характер, то он должен выдаваться с указанием возможной ошибки заданной обеспеченности. Для этого прогнозируемую характеристику можно выразить в виде: 1) математического ожидания предсказываемой величины с указанием ошибки определенной обеспеченности; 2) доверительных интервалов, внутри которых с заданной вероятностью ожидается появление предсказываемой переменной; 3) кривой обеспеченности.

Мы полагаем, что для прогноза водопритоков наиболее удобен первый из указанных способов его выражения, т. е. в виде математического ожидания, полученного по кривой обеспеченности или на основании корреляционных связей, плюс — минус вероятная ошибка $E_{50\%}$ (обеспеченностью 50%).

Для нормального распределения ошибок, что обычно принимается в расчетах $E_{50\%}$ определяется по следующей формуле:

$$E_{50\%} = \pm 0,674\sigma_y, \quad (5)$$

где σ_y — среднее квадратичное отклонение от нормы предсказываемой величины, которое характеризует природную вариацию интересующей нас переменной; σ_y определяется по формуле:

$$\sigma_y = \pm \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}. \quad (6)$$

Статистические расчеты являются весьма трудоемкими, в особенности при длинных рядах наблюдений. Поэтому в настоящее время для их выполнения используются ЭЦВМ, значительно упрощающие решение задачи.

Глава 4

ТИПИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПО УСЛОВИЯМ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВОДОПРИТОКОВ. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Корреляционные зависимости между гидрометеорологическими факторами и водопритоками в горные выработки могут быть использованы для расчета последних лишь в том случае, если между поверхностными и подземными водами существует достаточно тесная связь, в результате которой сезонный, годовой и многолетний ход гидрометеорологических факторов оказывает существенное влияние на изменение водопритоков в горные выработки.

Выше указывалось, что такая связь определяется геологическим строением и тектоникой данного района, а степень ее проявляется в величине коэффициента сезонной неравномерности.

В зависимости от наличия связи режима подземных вод с гидрометеорологическими факторами могут быть выделены следующие две группы месторождений полезных ископаемых.

I. Месторождения полезных ископаемых, на которых режим подземных вод непосредственно связан с режимом поверхностных вод и атмосферных осадков (гидрометеорологические факторы оказывают существенное влияние на изменение водопритоков в горные выработки).

К I группе относятся месторождения, обводняемые в основном безнапорными водоносными горизонтами, а также напорными с маломощным или неравномерным покровом водонепроницаемых пород: Северо-Уральский бокситовый бассейн, Горевское и Миргалымсайское полиметаллические месторождения, Прибалтийский сланцевый бассейн и др.

II. Месторождения полезных ископаемых, на которых связь режима подземных вод с режимом поверхностных вод и атмосферных осадков практически не проявляется (гидрометеорологические факторы не оказывают существенного влияния на изменение водопритоков в горные выработки).

К II группе относятся месторождения, обводняемые в основном напорными водами крупных артезианских бассейнов, а также безнапорными водоносными горизонтами, перекрытыми сверху широкоразвитыми водонепроницаемыми породами: большинство месторождений КМА, многие месторождения Подмосковского бурогоугольного бассейна и др.

Режим водопритоков на месторождениях I группы подвержен значительным колебаниям под влиянием гидрометеорологических факторов в зависимости от изменения последних в многолетнем разрезе и по сезонам года. В этих условиях прогноз водопритоков в горные выработки может быть выполнен с помощью методов математической статистики, либо самостоятельно примененными, либо совместно с аналитическими расчетами или моделированием.

Водопритоки в горные выработки на месторождениях II группы изменяются, как правило, весьма плавно и практически не зависят от водности отдельных лет; коэффициент сезонной неравномерности близок к $K_c=1$. Поэтому прогноз максимальных водопритоков не имеет практического значения, а среднегодовые водопритоки могут быть определены с помощью аналитических расчетов или моделирования.

Методы статистических расчетов, используемые для прогноза водопритоков в горные выработки на месторождениях I группы, в значительной степени определяются связью режима подземных вод, обводняющих месторождение, с гидрометеорологическими факторами. Поэтому месторождения первой группы делятся на два основных типа «А» и «Б».

На месторождениях типа «А» наблюдается связь между режимом подземных вод и изменениями гидрометеорологических факторов. Эта связь на месторождениях типа «Б» имеет существенное значение, однако она более замедленная, чем для типа «А».

Различная связь между рассматриваемыми явлениями обусловлена тем, что на месторождениях типа «А» водоносные горизонты приурочены преимущественно к трещиноватым и закарстованным породам, а на месторождениях типа «Б» — в основном к пористым породам.

Трещиноватые и закарстованные породы характеризуются большими коэффициентами фильтрации (K) и малыми коэффициентами водоотдачи (μ), в результате чего для этих пород отношение $\frac{K}{\mu}$ значительно больше (на 1—2 порядка), чем для пористых пород (то же справедливо для коэффициента уровняпроницаемости a). Поэтому изменение питания водоносного горизонта, приуроченного к трещиноватым и закарстованным породам, более быстро передается режиму водопритоков в горные выработки.

Отмеченные различия трещиноватых и закарстованных пород, с одной стороны, и пористых пород, с другой, приводят к тому, что гидрометеорологические факторы должны по-разному учитываться при расчетах водопритоков для указанных типов месторождений.

Для типа «А» можно принять, что в средний по водности год на водопритоки данного года оказывают влияние атмосферные осадки только данного года (возможно смещение в несколько месяцев), т. е. что режим водопритоков является «процессом без памяти». В этих условиях среднегодовые водопритоки в горные выработки рассчитываются в зависимости от гидрометеорологических факторов, характеризующих водность отдельных лет. При этом максимальные водопритоки определяются режимом гидрометеорологических факторов текущего многоводного года.

На месторождениях типа «Б» на водопритоки данного года оказывают влияние атмосферные осадки не только текущего года, но и предыдущих лет, т. е. режим водопритоков является «процессом с памятью». В этих условиях водопритоки данного года рассчитываются в зависимости от осадков не только текущего года, но и предыдущих лет, взятых с разными весовыми частями.

Подобный расчет методом подбора был выполнен Ф. И. Бядиным [15] для прогноза уровня Каспийского моря в зависимости от атмосферных осадков, выпадающих на площади его бассейна.

В настоящее время разработан алгоритм решения этой задачи и созданы программы для вычисления ее на цифровой электрической машине. В каждом из указанных типов мы выделяем классы месторождений, характеризующиеся различным значением гидрометеорологических факторов на разных этапах отработки месторождений.

Выше мы уже останавливались на вопросе изменения водопритоков в процессе эксплуатации месторождения и работы рудничного водоотлива. Здесь подчеркнем лишь основные моменты.

При формировании депрессионной воронки в первый период отработки месторождения суммарные водопритоки в систему горных выработок непрерывно возрастают. В дальнейшем, после того как депрессионная воронка в основном сформировалась, рост водопритоков либо прекращается, либо значительно замедляется. При этом в первый период отработки месторождения рост водопритоков зависит в основном от горнотехнических факторов. В последующем, когда водопритоки в горные выработки стабилизируются, на их изменение существенное влияние начинают оказывать гидрометеорологические факторы.

В зависимости от геологических и гидрогеологических особенностей изучаемого месторождения продолжительность и степень влияния горнотехнических и гидрометеорологических факторов различна.

На одних месторождениях при ограниченном распространении водоносного горизонта и вблизи контура питания горнотехнические факторы довольно быстро приобретают второстепенное значение при изменении суммарных рудничных водопритоков. На других же месторождениях горнотехнические условия отработки оказывают существенное влияние в течение продолжительного периода и ими нельзя пренебрегать при прогнозировании водопритоков в горные выработки.

В соответствии с вышесказанным выделяются два класса месторождений: первый класс (A_1 и B_1) включает месторождения, на которых изменения водопритоков зависят в основном от гидрометеорологических факторов; ко второму классу (A_2 и B_2) относятся месторождения, на которых изменения водопритоков зависят как от условий их разработки, так и от гидрометеорологических факторов.

Месторождения, на которых изменение водопритоков в течение некоторого периода отработки зависит в основном от горнотехнических условий отработки, а в последующий период зависят в основном от гидрометеорологических факторов, в разные периоды отработки могут быть отнесены к разным классам.

Для месторождений, относящихся к первому классу, при расчете корреляционных связей фактические водопритоки в горные выработки рассматриваются как случайные величины, зависящие от гидрометеорологических факторов, т. е. в расчет вводятся непосредственно данные по водопритокам.

Для месторождений, относящихся ко второму классу, необходимо производить разложение функции на детерминированную и случайную составляющие. Для этого аналитическим путем или методами моделирования рассчитывается кривая изменения водопритоков во времени под влиянием горнотехнических факторов в данных гидрогеологических условиях. При отсутствии требуемых

для расчета фильтрационных характеристик водоносного горизонта и характеристик, отражающих горнотехнические условия отработки месторождения, аналитическая кривая может быть получена с помощью полиномов различных порядков на основании фактически наблюдаемых водопритокков.

Случайные величины рассчитываются как отклонения фактических водопритокков от тренда. Они рассматриваются как переменные, зависящие от гидрометеорологических факторов и используются при корреляционном анализе.

В ряде случаев для упрощения расчетов могут быть использованы водопритокки, наблюдаемые только во второй период отработки месторождения, т. е. в условиях их стабилизации. Тогда расчеты производятся так же, как для месторождений первого класса, т. е. фактические водопритокки в горные выработки рассматриваются в качестве случайных переменных.

Дальнейшее разделение месторождений на виды позволяет установить, какой гидрометеорологический фактор должен быть использован при парной корреляции. При выборе такого фактора для всех типов и классов месторождений существенным является наличие или отсутствие непосредственной связи подземных вод с поверхностными водотоками.

При этом следует учесть, что если на водопритокки в горные выработки оказывают влияние постоянно действующие поверхностные водотоки (подвид b_1), то водопритокки или их отклонения от аналитической кривой рассматриваются в зависимости от расходов воды, протекающих в этих водотоках. Если на водопритокки в горные выработки оказывают влияние периодически действующие поверхностные водотоки (подвид b_2), то водопритокки или их отклонения от аналитической кривой рассматриваются в зависимости от потерь речных вод на инфильтрацию в зоне влияния рудничного водоотлива. Это связано с тем, что на периодически действующих водотоках при возобновлении и исчезновении стока расход воды в характерном створе может быть равен нулю, в то время, как потери речных вод на инфильтрацию могут быть весьма значительными.

Таким образом, возможность применения методов математической статистики для прогноза водопритокков в горные выработки обусловлена наличием непосредственной связи между подземными и поверхностными водами.

Гидрогеологические особенности месторождений, положенные в основу выделения типов и классов. Они определяют методы обработки исходных материалов, используемых для прогноза водопритокков.

Виды месторождений устанавливаются в зависимости от особенностей питания подземных вод за счет поверхностных и позволяют выбрать для прогноза водопритокков такую гидрометеорологическую характеристику, которая бы наиболее полно отражала природные условия района. Рассмотренная типизация месторожде-

Таблица 1

Типизация месторождений твердых полезных ископаемых, на которых режим подземных вод непосредственно связан с режимом поверхностных вод и атмосферных осадков

Тип	Характеристика	Класс	Характеристика	Вид	Характеристика
А	Месторождения, на которых изменение водопритоков зависит в основном от водности текущего года. (Подземные воды приурочены преимущественно к трещинно-карстовым массивам водоносных пород)	А ₁	Месторождения, на которых изменения водопритоков зависят в основном от гидрометеорологических факторов	А _{1а}	Изменения водопритоков непосредственно не связаны с режимом поверхностных водотоков
				А _{1б}	Изменения водопритоков непосредственно связаны с режимом поверхностных водотоков
		А ₂	Месторождения, на которых изменения водопритоков зависят как от условий их разработки, так и от гидрометеорологических факторов	А _{2а}	Изменения водопритоков непосредственно не связаны с режимом поверхностных водотоков
				А _{2б}	Изменения водопритоков непосредственно связаны с режимом поверхностных водотоков
Б	Месторождения, на которых изменение водопритоков зависит от водности как текущего года, так и предыдущих лет. (Водоносные горизонты представлены в основном пористыми породами)	Б ₁	Месторождения, на которых изменения водопритоков зависят в основном от гидрометеорологических факторов	Б _{1а}	Изменения водопритоков непосредственно не связаны с режимом поверхностных водотоков
				Б _{1б}	Изменения водопритоков непосредственно связаны с режимом поверхностных водотоков
		Б ₂	Месторождения, на которых изменения водопритоков зависят как от условий их разработки, так и от гидрометеорологических факторов	Б _{2б}	Изменения водопритоков непосредственно не связаны с режимом поверхностных водотоков
				Б _{2б}	Изменения водопритоков непосредственно связаны с режимом поверхностных водотоков

Таблица 2

Рекомендуемые методы для прогноза водопритоков

Тип	Характеристика	Класс	Характеристика	Вид	Характеристика
А	Моделируется „процесс без памяти“	А ₁	Величины водопритоков рассматриваются в качестве переменных, зависящих от гидрометеорологических факторов (статистические методы решения)	А _{1а}	Фактические водопритоки рассматриваются в зависимости от атмосферных осадков
				А _{1б}	Фактические водопритоки рассматриваются в зависимости от поверхностного стока.
		А ₂	Величины водопритоков разлагаются на детерминированную функцию (тренд) и случайную компоненту (статистические и аналитические методы решения)	А _{2а}	Отклонения фактических водопритоков от аналитической кривой рассматриваются в зависимости от атмосферных осадков
				А _{2б}	Отклонения фактических водопритоков от аналитической кривой рассматриваются в зависимости от поверхностного стока
Б	Моделируется „процесс с памятью“	Б ₁	Величины водопритоков рассматриваются в качестве переменных, зависящих от гидрометеорологических факторов (статистические методы решения)	Б _{1а}	Фактические водопритоки рассматриваются в зависимости от осадков текущего года и предыдущих лет, взятых с разными весовыми частями
				Б _{1б}	То же, что в Б _{1а} . В полученные результаты вводится поправка, учитывающая сезонную неравномерность водопритоков под влиянием речного стока данного года
		Б ₂	Величины водопритоков разлагаются на детерминированную функцию (тренд) и случайную компоненту (статистические и аналитические методы решения)	Б _{2а}	Отклонения фактических водопритоков от аналитической кривой рассматриваются в зависимости от осадков текущего года и предыдущих лет, взятых с разными весовыми частями
				Б _{2б}	То же, что в Б _{2а} . В полученные результаты вводится поправка, учитывающая сезонную неравномерность под влиянием речного стока данного года

ний по гидрогеологическим условиям (табл. 1) позволяет наметить расчетную схему при прогнозе водопритоков для разных типов месторождений (табл. 2).

Ниже приведены примеры для некоторых из них, а также индексы, характеризующие методы вероятностно-статистического прогноза максимальных среднегодовых водопритоков на этих месторождениях.

На шахтах Эстонского сланцевого бассейна водопритоки определяются особенностями инфильтрации в период весеннего таяния снегового покрова и в основном зависят от суммы осенне-зимних осадков (A_{1a}).

Водопритоки на Ленинградском месторождении сланцев в результате особенностей, рассмотренных в главе 2, изменяются более плавно и зависят как от атмосферных осадков, выпадающих на площади района, так и от инфильтрации на отдельных участках р. Плюссы ($B_{1б}$).

На шахтах Кизеловского бассейна, расположенных вблизи речных долин, водопритоки можно рассматривать в зависимости от речного стока по расчетной схеме ($A_{1б}$).

На Миргалимсайском месторождении приток воды в рудник существенно увеличивается при прохождении весеннего паводка на периодически действующих водотоках ($A_{2б}$). Если при прогнозировании использовать водопритоки не за весь период эксплуатации месторождения, а лишь при относительной их стабилизации, то можно воспользоваться более простой расчетной схемой ($A_{1б}$).

Водопритоки СУБРа определяются весенними паводками постоянно действующих рек и могут быть рассчитаны по схеме ($A_{2б}$). Упрощение расчетов для условий СУБРа в настоящее время, по-видимому, невозможно, поскольку стабилизация водопритоков нарушается при переходе к отработке более глубоких горизонтов.

Рассмотренная типизация разработана с целью получения расчетных схем для прогноза водопритоков. Однако она имеет более общее значение, поскольку отражает специфику применения методов математической статистики при решении рассматриваемой задачи.

Разделение месторождений твердых полезных ископаемых на группы и типы, определяемые наличием связи между поверхностными и подземными водами, устанавливает те основные условия, для которых имеет значение расчет экстремальных величин водопритоков, ибо при отсутствии непосредственной связи подземных вод с поверхностными изменение водопритоков в рудник будет весьма незначительным и плавным (при установившемся режиме фильтрации). Выделение классов месторождений связано с анализом статистической однородности исследуемого ряда водопритоков.

Вопросы стабильности водопритоков и расчленения их на детерминированную функцию и случайную компоненту имеют весьма важное значение для разных типов задач по прогнозированию

водопритоков. Это значение определяется тем, что вероятностные методы расчета могут быть применены только для статистически однородных величин, какими являются водопритоки лишь в условиях установившегося режима фильтрации, в то время как при прогнозе водопритоков мы располагаем данными, которые частично или полностью наблюдались в период неустановившегося режима фильтрации.

Таким образом, гидрогеологические особенности определяют, во-первых, в каких случаях необходимо прогнозировать максимальные водопритоки и, во-вторых, когда для расчета водопритоков применимы только вероятностно-статистические методы, когда — только аналитические методы и моделирование и, наконец, когда целесообразно совместное использование тех и других.

Очевидно, что разработка различных типов задач по прогнозированию водопритоков вероятностно-статистическими методами потребует дальнейшего развития рассмотренной нами гидрогеологической типизации месторождений.

Глава 5

ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНЫХ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ И СРЕДСУТОЧНЫХ ВОДОПРИТОКОВ

В предыдущих главах был рассмотрен вопрос о прогнозировании максимальных среднегодовых водопритоков расчетной обеспеченности в систему горных выработок.

При значительной сезонной неравномерности водопритоков решение этой задачи должно быть дополнено прогнозом максимальных среднемесячных и максимальных среднесуточных водопритоков. Расчет последних не возможно выполнить путем использования связи между максимальными водопритоками и максимальными характеристиками гидрометеорологических явлений за тот же период, аналогично тому, как это было сделано для среднегодовых водопритоков. Причина этого заключается в том, что максимальные водопритоки, наблюдаемые в течение года, зависят не только от водности данного года, но и от интенсивности поступления воды в грунт в период снеготаяния или выпадения дождей, а также от перераспределения воды в массиве вмещающих пород. Поэтому связь максимальных характеристик гидрометеорологических факторов с максимальными водопритоками будет характеризоваться пониженным коэффициентом корреляции. Кроме того, бывает трудно определить экстремальные значения гидрометеорологических факторов. Например, максимальные расходы воды в реке часто не могут быть измерены из-за их кратковременности.

В некоторых случаях, при наличии тесной связи между поверхностными и подземными водами коэффициент корреляции между максимальными среднемесячными водопритоками и гидрометеорологическими характеристиками может быть достаточно высоким.

Тогда установленные зависимости могут быть использованы для прогноза среднемесячных водопритоков.

Однако наибольшая точность расчета получается в том случае, если максимальные среднемесячные водопритоки рассматриваются как функция среднегодовых водопритоков. При этом задача решается в два этапа. Сначала изучается изменение водопритоков за многолетний период и выполняется прогноз максимальных средне-годовых водопритоков расчетной обеспеченности в зависимости от гидрометеорологических факторов. Такой анализ позволяет установить особенности формирования водопритоков в многолетнем разрезе и тенденцию их изменения в будущем.

Второй этап расчета заключается в изучении на данном месторождении особенностей изменения водопритоков в течение года и установлении связи между среднегодовыми и максимальными среднемесячными водопритоками.

При такой методике расчета используются зависимости между среднегодовыми характеристиками гидрометеорологических факторов и водопритоков, являющихся элементами водного баланса района и имеющими годовой цикл изменений, а также между максимальными и среднегодовыми величинами водопритоков, соотношения между которыми определяются геологическими и гидро-геологическими особенностями района, т. е. относительно стабильными факторами.

Анализ закономерностей внутригодового изменения водопри-токов может быть выполнен для тех лет, когда рудничные водопри-токи относительно стабилизированы и изменяются в соответствии с годовым ходом гидрометеорологических факторов; изменения во-допритоков под влиянием горных работ носят в эти годы весьма ог-раниченный характер и на гидрографе водопритоков легко могут быть обнаружены и учтены.

Как известно, сезонная неравномерность водопритоков повто-ряет периодичность гидрометеорологических явлений. В период ве-сеннего половодья и дождевых паводков происходит интенсивное питание водоносного горизонта, вызывающее возрастание руднич-ных водопритоков. В последующую межень пополнение запасов подземных вод значительно сокращается или совершенно прекра-щается, водопритоки в рудник формируются в основном за счет сработки запасов подземных вод, накопленных в весенний период, и существенно уменьшаются. Таким образом, максимальные руд-ничные водопритоки обычно приурочены к прохождению паводка на реках района.

Максимальный среднемесячный расход можно определить, ис-пользуя распределение среднемесячных водопритоков в рудник для года, который в результате анализа внутригодового изменения во-допритоков за весь период наблюдений будет выбран годом-ана-логом.

За год-аналог принимается такой многоводный год, в который паводок проходит в наиболее короткий период времени, так как от-

ношение максимального среднемесячного расхода к среднегодовому $K_c = \frac{q_{\text{макс. ср-мес.}}}{q_{\text{ср. год.}}}$ в этом году будет наибольшим.

По вычисленному коэффициенту K_c и величине среднегодовых водопритоков расчетной обеспеченности определяют вероятностную величину максимальных среднемесячных водопритоков, т. е.

$$q_{\text{макс. ср. мес}} = K_c \cdot q_{\text{ср. год.}} \quad (7)$$

При указанном решении поставленной задачи мы вынуждены были прибегнуть к большой схематизации явления, считая K_c постоянной величиной для всех многоводных лет. Конечный результат такого расчета зависит от того, наблюдался ли на протяжении рассматриваемого периода многоводный год, близкий к расчетной обеспеченности. Если такой год имел место, результаты расчета

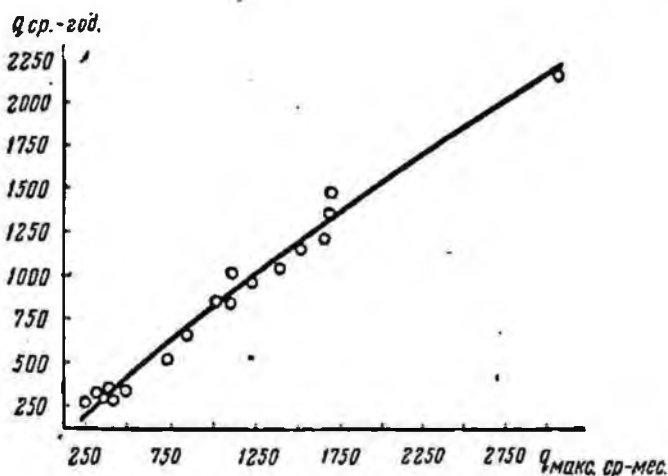


Рис. 5. График максимальных среднемесячных и среднегодовых водопритоков в шахту № 10 Прибалтийского сланцевого бассейна

будут достаточно хорошие; в противном случае расчет можно рассматривать лишь как ориентировочный.

Более точно можно выполнить расчет, если использовать не один год-аналог, а весь период наблюдений. Для этого строится график связи и рассчитывается уравнение регрессии для среднегодовых и максимальных среднемесячных притоков воды в горные выработки и по ним определяют величины максимальных среднемесячных водопритоков заданной обеспеченности. Рассматриваемая зависимость выражается в общем виде параболической кривой, но часто может быть аппроксимирована прямой линией (рис. 5).

Для получения максимальных среднесуточных водопритоков рассчитывается поправочный коэффициент ($K_{с. сут}$), который определяется по фактическим данным, как отношение максимальных

среднесуточных водопритоков ($q_{\text{макс. ср. сут}}$) к максимальным сред-
немесячным ($q_{\text{макс. ср. мес}}$). При этом из всех наблюдаемых лет
выбирается наиболее неблагоприятный год, т. е. такой, для кото-
рого этот коэффициент является наибольшим. Максимальный сред-
несуточный водоприток рассчитывают по формуле:

$$q_{\text{макс. ср. сут}} = K_{\text{сут}} \cdot q_{\text{макс. ср. мес.}} \quad (8)$$

Глава 6

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНЫХ ВОДОПРИТОКОВ В ПЕРИОД РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотренные выше типы задач по прогнозированию водопритоков
в систему горных выработок основываются на статистической об-
работке фактических данных по водопритокам и, следовательно,
могут быть применены в период эксплуатации месторождения для
уточнения расчетных величин и оценки водопритоков на глубоких
горизонтах. Однако статистический анализ может быть использо-
ван для прогнозной оценки водопритоков и в период разведки мес-
торождения.

Обычно в практике гидрогеологических исследований оценка
ожидаемых водопритоков производится путем расчета по анали-
тическим формулам для средних (за период наблюдений) уровней
подземных вод.

Однако такой расчет является достаточным только тогда, когда
разведываемое месторождение относится ко II группе рассмотрен-
ной выше типизации (см. гл. 4). Для месторождений I группы, в
особенности типа А этой группы, такой расчет может привести
к существенным ошибкам. В этих условиях при оценке возмож-
ных водопритоков непременно должна быть учтена их многолет-
няя и сезонная неравномерность.

Наблюдения, проводимые гидрогеологическими станциями, по-
казали, что уровни подземных вод могут быть подвержены зна-
чительным сезонным и многолетним колебаниям. В закарстован-
ных породах эти колебания могут достигать 20 м и более. Мно-
голетние изменения среднегодовых уровней подземных вод могут
быть значительно больше сезонных. Так, В. С. Ковалевский [51]
приводит пример колебаний уровней грунтовых вод по колодезю
№ 1 в Каменной степи, которые наблюдались с 1892 г. Амплитуда
сезонных изменений уровней в течение года здесь составляет 2 м,
а колебания среднегодовых уровней достигают более 4 м, несмот-
ря на то, что водоносный горизонт приурочен к суглинкам с прос-
лойми песка.

Следовательно, для правильного расчета возможных водопри-
токов в систему горных выработок следует определить, к какому по-
водности периоду относятся годы, в которые проводились наблюде-

ния при разведке месторождения: многоводному, среднему или маловодному, т. е. в какой части многолетней амплитуды находятся наблюдавшиеся уровни подземных вод. С этой целью необходимо учесть репрезентативность по водности периода исследований и в исходные расчетные величины, полученные по материалам фактических наблюдений, ввести поправочные коэффициенты, соответствующие водности лет заданной обеспеченности. Такие поправки могут быть получены из следующих соображений.

О. И. Крестовский [57] показал, что зависимости между величиной подземного стока и средней по бассейну глубиной залегания подземных вод (средней мощностью водоносного горизонта) «имеют параболический вид, так как определяются в основном изменением уклона зеркала грунтовых вод на участках дренирования, условиями дренированности водоносных пластов и пористостью водосодержащих грунтов бассейна». Эти зависимости описываются уравнениями типа:

$$y = px^m. \quad (9)$$

О. И. Крестовский построил графики связи между грунтовым стоком и средними глубинами водоносного горизонта на ряде бассейнов. Крутизна кривых обуславливается в значительной степени механическим составом вмещающих пород: более крутые параболы наблюдаются при более тяжелых грунтах в бассейне.

Автор указывает, что для бассейнов, аналогичных исследуемым по структурным, гидрогеологическим и другим условиям, но на которых не ведутся наблюдения за уровнями грунтовых вод, для расчета грунтового стока может быть применена зависимость, полученная на бассейне-аналоге.

И. О. Крестовский выполнял указанные исследования для определения подземной составляющей гидрографа реки. Для решения нашей задачи полученные им зависимости можно интерпретировать таким образом: среднее положение уровня подземных вод в бассейне находится в параболической зависимости от величины подземной составляющей гидрографа реки, дренирующей данный бассейн. Если имеется речной створ с длинным периодом наблюдений, то в этом створе может быть проведено расчленение гидрографа стока и рассчитаны среднегодовые значения подземной составляющей за весь период наблюдений. Эти значения будут в многолетнем разрезе характеризовать подземный сток в годы с различной водностью. Поскольку величина грунтового стока определяется запасами грунтовых вод в бассейне, изменение которых во времени устанавливается по наблюдениям за уровнями подземных вод, то полученная «подземная» составляющая речного стока может быть использована для характеристики изменений уровней подземных вод в бассейне в многолетнем разрезе *. Вместо подземной составляющей

* Зависимость между «подземной» составляющей стока р. Плюсы и водопритоками в некоторые шахты Прибалтийского сланцевого бассейна была установлена Н. Г. Паукером.

вляющей для такого анализа можно использовать меженные расходы или уровни реки, в особенности за период зимней межени, когда сток формируется в условиях независимого режима.

В качестве независимой переменной могут быть использованы и другие гидрометеорологические характеристики — среднегодовые величины расходов и уровней реки, годовая сумма атмосферных осадков или осадки только за зимний период. Эти факторы, как указывает В. С. Ковалевский, также связаны с уровнями подземных вод параболическими зависимостями. Если в районе действует родник, дебит которого измерялся в течение ряда лет, то он также может быть использован в качестве независимой переменной для определения расчетного значения уровня.

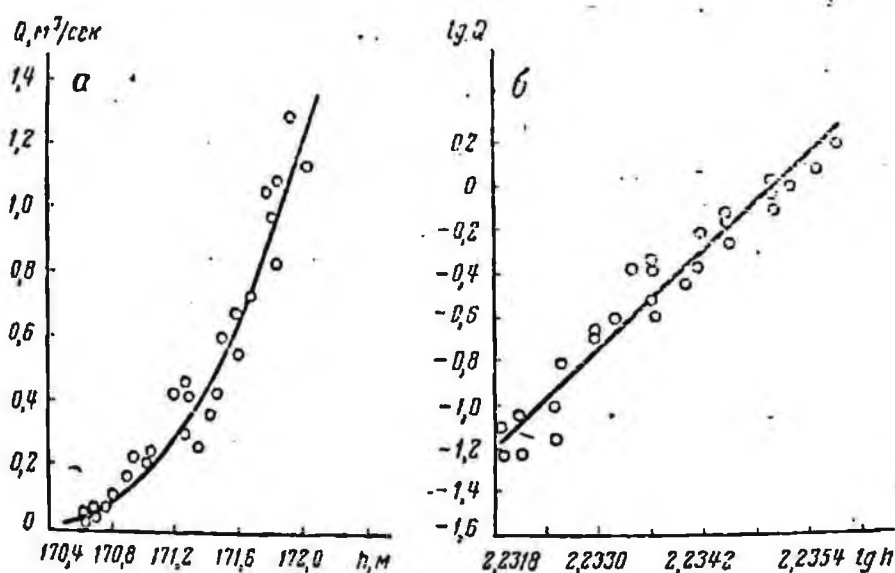


Рис. 6. График зависимости уровней подземных вод в скв. М-35-26-2 от расходов воды р. Тури у г. Ковеля:

а — наблюдаемые величины (по В. С. Ковалевскому); б — логарифмы наблюдаемых значений

Таким образом, если установлена взаимосвязь между уровнями подземных вод и одним из гидрометеорологических факторов за период совместных наблюдений, а также известны многолетние закономерности изменения этого фактора, то можно определить соответствующие значения уровней подземных вод. При этом следует учесть, что если две величины связаны между собой уравнением вида $y = nx^m$, то при построении графика связи в координатах $\lg y$ и $\lg x$ зависимость между ними выражается прямой линией с уравнением

$$\lg y = a + b \lg x.$$

(10)

На рис. 6 приводится график связи расходов р. Тури у г. Ковеля и уровней воды по скважине М-35-26-2 (по В. С. Ковалевскому), а также дается зависимость в логарифмических координатах.

Для того чтобы графически определить параметры a и b в уравнении (10), достаточно иметь две пары значений x_i и y_i , т. е. по двум годам наблюдений. Тогда параметр a будет равен длине отрезка h_a , отсекаемого прямой линией, соединяющей точки наблюдений на оси ординат, а параметр b , равный тангенсу угла наклона прямой линии к оси абсцисс, будет равен

$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (11)$$

Максимальный уровень подземных вод заданной обеспеченности y , обозначенный через $h_{p\%}$, определится по формуле:

$$\lg h_{p\%} = h_a + \frac{\lg h_2 - \lg h_1}{\lg Q_2 - \lg Q_1} \lg Q_{p\%}, \quad (12)$$

где h_1 и h_2 — среднегодовые уровни подземных вод за период наблюдений ($h_1 = y_1$, $h_2 = y_2$);

Q_1 и Q_2 — сток реки или значение другой независимой переменной за те же годы ($Q_1 = x_1$, $Q_2 = x_2$);

$Q_{p\%}$ — сток реки или значение другой независимой переменной требуемой обеспеченности ($Q_{p\%} = x$).

Вычисленный по уравнению (12) уровень подземных вод должен быть использован в дальнейших аналитических расчетах вместо наблюдавшегося. При этих расчетах следует также учесть, что вмещающие породы в пределах сезонных и многолетних колебаний уровней подземных вод являются наиболее промытыми и, следовательно, характеризуются повышенными величинами коэффициентов фильтрации.

Более точные результаты при определении расчетного уровня можно получить в том случае, если наблюдения в период разведки производить не два, а три года. Тогда величины a и b в уравнении (10) следует вычислить по нескольким парам x и y , а затем взять среднее значение из полученных результатов.

Таким образом, используя вычисленные величины уровней подземных вод, по аналитическим формулам получают ожидаемые среднегодовые водопритоки заданной обеспеченности. Однако при больших амплитудах в изменениях уровней подземных вод, что вполне может быть выявлено в период разведки, необходимо в полученные результаты внести поправки за счет сезонных колебаний водопритоков и определить максимальные среднемесячные водопритоки.

Степень изменчивости водопритоков по сезонам года, как уже указывалось в § 1 гл. 2, выражается коэффициентом сезонной не-

равномерности $K_c = \frac{q_{\text{макс. ср. мес.}}}{q_{\text{ср. год.}}}$, который изменяется в зависимости от режима подземных вод, обводняющих горные выработки, и связанного с режимом поверхностных вод и атмосферных осадков. Поскольку степень этой связи находится в зависимости от литологии вмещающих и вышележащих пород, глубины залегания отрабатываемого пласта, степени закарстованности и трещиноватости пород, близости реки и ее влияния на режим водопритоков, а также от способа отработки месторождения, то можно подобрать по этим факторам уже эксплуатируемое месторождение-аналог и принять в расчет K_c по этому месторождению.

Для наиболее обоснованного выбора K_c необходимо разработать типизацию месторождений по степени неравномерности режима водопритоков с указанием для каждого из выделенных типов пределов изменения K_c . В основу такой типизации могут быть положены типизации С. П. Прохорова и Е. Г. Качугина по условиям обводнения горных выработок и Д. И. Пересунько по режиму притоков рудничных вод. Однако в настоящее время мы не располагаем достаточными материалами для получения K_c в различных природных условиях.

Коэффициент сезонной неравномерности водопритоков для одних и тех же шахт и рудников в отдельные годы может изменяться в широких пределах. Однако наименьшие и наибольшие значения K_c , безусловно, связаны с особенностями данного месторождения. Так, например, на шахтах Эстонского сланцевого бассейна K_c менялся в следующих пределах (табл. 3).

Таблица 3

Значения K_c для Эстонского сланцевого бассейна

Шахта	Средняя глубина разработки, м	$K_c = \frac{q_{\text{макс. ср. мес.}}}{q_{\text{ср. год}}}$			C_v
		наименьш.	наибольш.	среднее	
Кукрузе	10	1,35	3,88	1,98	0,32
Кява II	15	1,26	2,86	1,85	0,26
№ 2	20	1,06	2,54	1,68	0,21
№ 8	30	1,08	1,73	1,44	0,13
№ 10	40	1,04	1,43	1,27	0,09

Как видно из табл. 3, с глубиной уменьшаются экстремальные значения K_c , а также их амплитуда. Эта же закономерность сохраняется и для средних величин K_c и коэффициента вариации $K_c - C_v$.

Если принять $C_s^* = 2C_v$, то можно построить кривую обеспеченности K_c . Тогда характерной для каждой шахты может быть при-

* Здесь C_v — коэффициент асимметрии K_c .

нята величина K_c обеспеченностью $P=5\%$. Это значение K_c целесообразно внести в типизацию месторождений по степени неравномерности водопритоков и использовать для расчета максимальных среднемесячных водопритоков.

Таким образом, для того, чтобы наиболее правильно оценить возможные водопритоки на стадии разведки, необходимо выполнить следующие операции:

1. Наблюдавшиеся в период разведки уровни привести к средне-многолетним; этим учитывается репрезентативность периода наблюдений по водности. В результате таких расчетов получают среднегодовые уровни заданной обеспеченности и по ним определяют возможные среднегодовые водопритоки многоводного года (обеспеченностью 5% и 1%).

2. При значительной сезонной неравномерности режима подземных вод производится расчет максимальных среднемесячных водопритоков, для чего среднегодовые их значения умножаются на коэффициент сезонной неравномерности K_c , взятый по аналогии с эксплуатируемыми месторождениями, отрабатываемыми в сходных условиях.

Использование вероятностно-статистических методов для учета влияния на обводнение горных выработок и изменение питания водоносного горизонта в сезонном и многолетнем разрезе позволит правильно подойти к оценке возможных максимальных водопритоков, что имеет большое значение для проектирования водоотливного хозяйства рудников и шахт.

Раздел II

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНЫХ ВОДОПРИТОКОВ НА МИРГАЛИМСАЙСКОМ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Геологические и гидрогеологические условия района месторождения обуславливают значительную обводненность горных выработок, а тесная связь с протекающими вблизи него реками — большую сезонную неравномерность водопритоков. Эти особенности определяют практическое значение прогноза максимальных водопритоков в систему горных выработок на весь период его отработки. Поскольку Миргалимсайское месторождение расположено в весьма сложных гидрогеологических условиях, при которых прогноз максимальных водопритоков гидродинамическими методами или моделированием невозможен, выполнение такого прогноза с применением методов математической статистики представляет теоретический интерес.

Глава 7

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА МИРГАЛИМСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

§ 1. Физико-географические условия

Орография. Миргалимсайское месторождение расположено в зоне сочленения юго-западного склона Центрального Каратау, который представляет собой одну из северных дуг Тянь-Шаньской горной системы, с прилегающей к нему Туркестан-Арысской равниной. Хребет ориентирован в направлении с северо-запада на юго-восток и имеет общую протяженность около 300 км. Средние абсолютные отметки хребта колеблются в пределах 700—1100 м, максимальные превышают 2000 м.

Хребет построен асимметрично. Северо-восточный его склон круто, под углом около 30°, опускается к пустыне Бет-Пак-Дала и пескам Муюн-Кум; юго-западный склон — пологий, со средним уклоном около 8°.

Поверхность хребта, в особенности юго-западный его склон, расчленена большим количеством речных овражных долин.

Абсолютные отметки предгорий колеблются в пределах 400—650 м. У подножия хребта выделяется плоская равнина, имеющая наклон в сторону р. Сырдарьи.

Климат района резко континентальный с четко выраженной вертикальной зональностью. В целом по району климат изменяется от

пустынного (метеостанция Туркестан) до горного (метеостанция Ачисай) и характеризуется жарким и сухим летом, сильными ветрами, малым количеством осадков и теплой зимой с частыми оттепелями и неустойчивым снежным покровом.

Температурный режим воздуха характеризуется большой годовой, сезонной и суточной амплитудами (табл. 4).

Таблица 4

Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха
(средние за период наблюдений)

Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Туркестан	-6,0	-2,5	5,4	14,2	20,8	26,0	28,6	26,9	19,9	11,1	3,3	-2,4	12,1
Ачисай	-5,9	-4,4	2,7	11,0	16,9	22,4	25,6	23,6	17,7	10,4	3,5	-0,9	10,2

Средняя годовая температура воздуха на метеостанции Туркестан, находящейся в равнинной части района, колеблется в пределах $9,8-14,4^{\circ}$, на метеостанции Ачисай, расположенной в горах, в пределах $9,1-11,0^{\circ}$.

Зима в районе неустойчивая и мягкая, нередко с оттепелями, во время которых температура воздуха повышается до 20° . Самым холодным месяцем является январь. Абсолютный минимум температуры на метеостанции Туркестан составляет -34° , на метеостанции Ачисай -30° .

Лето в районе жаркое и продолжительное. Количество дней со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 15° , в равнинной части составляет 165—170, в горной 150. Самым теплым месяцем является июль. Абсолютный максимум температуры воздуха на метеостанции Туркестан составляет 46° , на метеостанции Ачисай 40° .

Распределение атмосферных осадков на территории рассматриваемого района весьма неравномерное. В равнинной части, где в течение всего года преобладают сухие ветры северо-восточных и восточных румбов, годовое количество осадков незначительно. Для метеостанции Туркестан норма осадков 178 мм. По мере повышения абсолютных отметок местности годовые суммы осадков возрастают. Так, на метеостанции Ачисай средняя многолетняя величина осадков составляет 471 мм, а на водораздельных участках хребта, по данным В. С. Жеваго, она достигает 736 мм, колеблется от 425 мм в засушливые годы до 1300 мм — в многоводные. Изменение осадков в многолетнем разрезе на метеостанциях Туркестан и Ачисай показано на рис. 7.

Поскольку в районе месторождения наблюдается вертикальная зональность, то из всех существующих метеорологических станций наиболее полно отражает условия изучаемой территории метео-

станция Ачисай, так как она расположена на высоте 820 м. абс., близкой к средним отметкам бассейна, на котором формируется подземный сток.

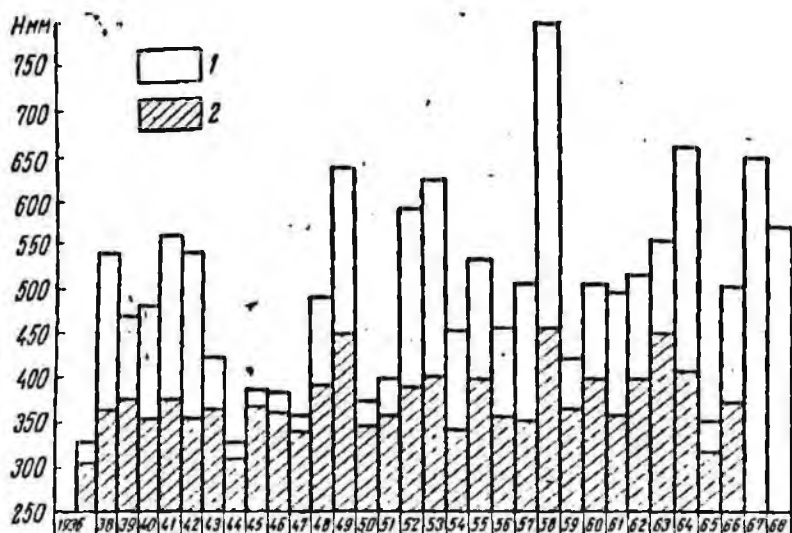


Рис. 7. Совмещенный хронологический график годовых сумм атмосферных осадков по метеостанциям Ачисай и Туркестан
1 — по Ачисаю; 2 — по Туркестану

Большая часть осадков выпадает в холодный период года (XII—III) — до 60%, с месячным максимумом, наблюдаемым в марте. Минимум осадков отмечается в июле—сентябре (табл. 5).

Таблица 5

Среднее многолетнее месячное и годовое количество осадков

Пункты наблюдения	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	Теплый период IV—X	Холодный период XI—III
Туркестан	26	20	29	24	17	7	2	2	3	7	16	25	170	62	116
Кентау	38	38	58	32	30	15	3	6	4	17	30	69	340	90	250
Ачисай	67	59	73	62	44	15	6	5	7	34	40	59	471	173	298

Снежный покров обычно неустойчив и небольшой мощности. Даты его формирования и разрушения колеблются в широких пределах.

Для исследуемого района характерен большой дефицит влажности, обусловленный высокими температурами воздуха и крайней засушливостью летнего периода. Среднегодовые вели-

чины дефицита влажности изменяются от 10,4 мб в Ачисае до 12,4 мб в Туркестане. Наибольший дефицит влажности отмечается в июле, он равен соответственно 32,6 мб и 26,0 мб.

Гидрография и режим рек. Речная сеть на юго-восточном склоне Центрального Каратау развита хорошо. Реки этого рай-



Рис. 8. Схема расположения гидрографической сети и гидрометрических постов

она принадлежат бассейну р. Хантаг-Карачик. Наиболее крупными из них являются Талды-Булак, Биресек, Баялдыр и Кызы-ата (рис. 8). На северо-востоке к бассейну р. Хантаг-Карачик примыкает бассейн р. Ермак-Су, на юго-востоке — бассейн р. Икан-Су. Река Хантаг-Карачик является правым притоком

Таблица 6

Характеристика рек района и их бассейнов

Реки	Длина основного русла реки, км	Площадь водо- сбора, км ²	Абсолютные отмет- ки, м		Средне- взвешен- ная высота бассейна, м	Среднегодо- вые расходы воды по дан- ным ян-та «Водоканал- проект», м ³ /с
			истока	устья		
Кызылата пост 10	28	82	1700	420	884	0,33
Баялдыр, пост 11	43	283	1950	430	1004	1,71
Биресек, пост 18	32	199	1950	440	1194	1,42
Талды-Булак	15	37	1200	450	858	—
Хантаги, пост 19	28	137	1500	430	943	0,97
Курсай, пост 294	28	73	1250	460	826	0,25
Икан-Су	35	147	1400	460	881	1,02

р. Сырдарьи и доносит до нее свои воды только в половодье многоводных лет (табл. 6).

Реки текут по склону хребта почти параллельно друг другу на расстоянии 5—7 км. Они имеют много общего в морфометрическом строении долин и русел, а также в режиме стока. Истоки рек представляют собой неглубокие лощины водораздельного плато с выклинивающимися в них родниками.

В верхнем течении реки протекают среди валунов и обломков скал; в узких каньонообразных долинах с крутыми и отвесными склонами наблюдаются большие уклоны дна с частыми перепадами. Перед выходом из гор долины рек расширяются до 200—300 м, склоны выполаживаются, уклоны дна уменьшаются. Пойма, вначале неясно выраженная, загроможденная валунами и обломками горных пород, перед выходом из гор расширяется, рельеф ее выравнивается.

После выхода из гор долины рек распластываются, становятся неясно выраженными, сливаясь с окружающей местностью.

Первые гидрологические наблюдения на реках района были начаты в 1916 г. открытием водомерного поста на р. Хантаг-Карачик у родников Хантаги. Однако до 1930 г. этот пост неоднократно закрывался на длительные периоды. В 1927 г. на р. Икан-Су и в 1929 г. на р. Ермак-Узень были открыты водомерные посты на участках выхода этих рек на предгорную равнину. Эти посты также работали с перерывами.

В 1950 г. Бургемская гидрогеологическая партия организовала гидрометрические наблюдения на реках Баялдыр, Биресек, Хантаги и Кызыл-Ата. Однако на многих постах этих рек гидрологические работы до 1958 г. велись нерегулярно.

Таким образом, наиболее надежными и длительными являются наблюдения на р. Хантаг-Карачик по гидропосту 30 (расположенному ниже устья р. Биресек), материалы которых приняты в качестве основных при оценке многолетних характеристик поверхностного стока района.

Имеющийся ряд наблюдений является вполне надежным как по длине, так и по качеству исходных материалов. Он охватывает одинаковое количество маловодных и многоводных групп лет и включает многоводный 1949 г., близкий к 2% обеспеченности, и маловодный 1951 г. с обеспеченностью, близкой к 99%. Параметры кривой обеспеченности для этого ряда будут следующими: $x_{ср}=2,01$; $C_v=0,55$; $C_s=2C_v$. Кривая обеспеченности среднегодовых расходов р. Хантаг-Карачик в указанном створе приведена на рис. 9, а ординаты ее будут следующими: обеспеченность ($P\%$) равна 1; 5; 10; 20; 50; 75; 90; 95; 97, а среднегодовые расходы ($m^3/сек$) соответственно: 5,44; 4,10; 3,50; 2,83; 1,81; 1,21; 0,78; 0,60; 0,50.

Следует иметь в виду, что под влиянием рудничного водоотлива несколько увеличилась фильтрация в руслах рек в пределах

депрессивной воронки, на чем мы подробно остановимся ниже. В результате этого исследуемый стоковый ряд не является статистически однородным. Однако недоучет этого обстоятельства идет в запас прочности дальнейших расчетов.

Водность рек района весьма незначительная. Она может быть охарактеризована среднегодовыми расходами воды (см. табл. 6).

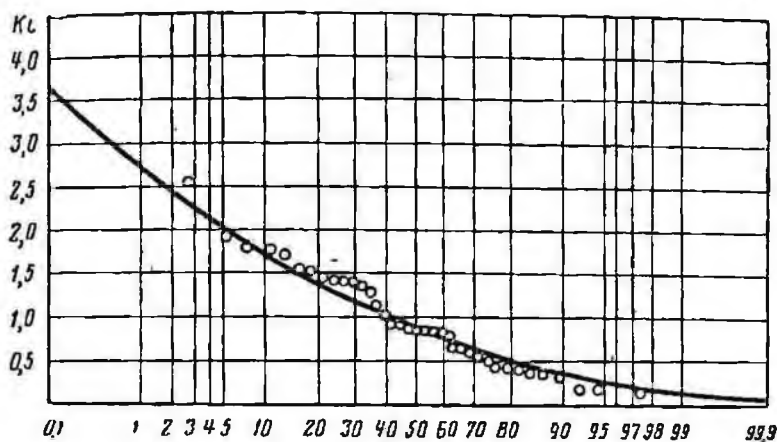


Рис. 9. Кривая обеспеченности среднегодовых расходов р. Хантаг-Карачик — пост 30

Распределение стока в течение года неравномерное. Это объясняется тем, что основное поступление воды в реки происходит в пределах горной части хр. Каратау в период весеннего снеготаяния. Поэтому 50—80% годового стока рек приходится на два-три весенних месяца: с конца февраля — начала марта и до конца мая. Появление паводка определяется началом интенсивного таяния снега в горах, обусловленного переходом отрицательных среднесуточных температур воздуха к устойчивым положительным.

Продолжительность паводкового периода зависит от величины запасов снега в горах, а также от интенсивности наступления положительных температур воздуха и количества атмосферных осадков, выпадающих в весенний период. Весенние дожди вызывают кратковременные паводки, которые нарушают плавный ход весеннего половодья.

В конце июня — начале июля все реки района в своем нижнем течении пересыхают. Сток сохраняется лишь в горной части за счет выходящих здесь родников. Дожди, редкие в летнее время, влияния на сток рек почти не оказывают, так как полностью расходуются на испарение и инфильтрацию.

Осенью, в октябре — декабре, сток в верхнем течении увеличивается, что приводит к возобновлению его на нижележащих участках. Выпадающие в это время дожди формируют кратковремен-

ные паводки, однако большая часть осадков расходуется на инфильтрацию в иссушенные за летний период грунты и теряется на испарение.

Зимняя межень нередко нарушается паводками, которые формируются за счет выпадения дождей и таяния снега в горах во время оттепелей. Продолжительность зимних паводков обычно не превышает нескольких дней.

Типовые гидрографы для среднего по водности 1961 г., многоводного 1964 г. и маловодного 1965 г. для р. Баялдыр приведены на рис. 10.

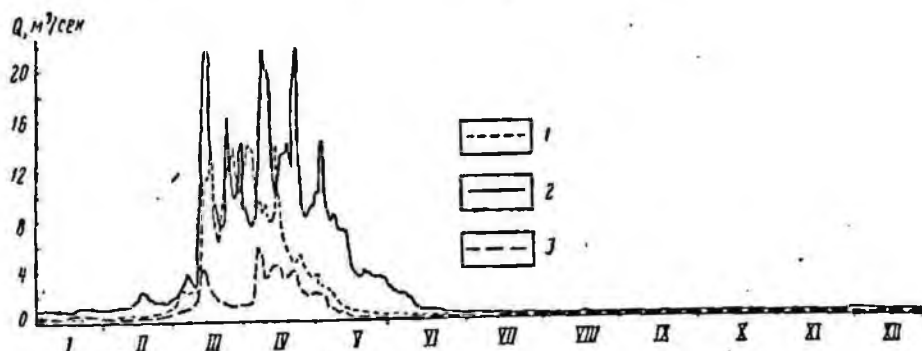


Рис. 10. Типовые гидрографы р. Баялдыр. (пост 26) для:
1 — среднего (1961); 2 — многоводного (1964) и 3 — маловодного (1965) года

Расходы воды на реках, как правило, не превышают в период летней межени $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, осенью $2\text{--}5 \text{ м}^3/\text{с}$, а при прохождении дождевых паводков $10\text{--}15 \text{ м}^3/\text{сек}$. Максимальные расходы весеннего половодья могут достигать значительных величин. Катастрофические расходы воды на реках района наблюдались 9 марта 1950 г., когда на р. Хантаг-Карачик на посту 30 был зафиксирован расход $418 \text{ м}^3/\text{с}$ (обеспеченность $P=0,7\%$), а на р. Биресек — пост 18, на р. Баялдыр — пост 11 и на р. Икан-Су — в створе расходы составили соответственно 230, 202 и $283 \text{ м}^3/\text{с}$. Половодье 9 марта 1950 г. на всех реках района сопровождалось селевыми потоками катастрофической силы.

Для рек района характерно уменьшение расходов воды вниз по течению. Это обусловлено тем, что основное питание реки получают, протекая по наиболее высокой части хребта, сложенной девонскими и силурийскими песчаниками, благодаря структурным особенностям которых почти все выпадающие в пределах высокогорной части хребта атмосферные осадки идут на поверхностный сток. Выходя за пределы распространения песчаников, реки попадают в область развития трещиноватых и закарстованных карбонатных пород, протекая по которым, они почти не получают дополнительного питания, так как осадки в основном поглощаются этими породами и частично тратятся на испарение, а сколько-нибудь существ-

венного поверхностного стока не дают. Наоборот, значительная часть речной воды уходит на инфильтрацию в закарстованные породы. Поэтому вниз по течению сток постепенно убывает (рис. 11), а в летний период на значительном протяжении реки вообще пересыхают, и сток сохраняется лишь в верховьях за счет родников в горах.

§ 2. Инфильтрация речных вод в зоне влияния рудничного водоотлива

Потеря значительной части стока рек на инфильтрацию является характерной особенностью районов развития трещиноватых и закарстованных карбонатных пород. Для Миргалимсайского месторождения этот вопрос имеет весьма существенное значение, так как инфильтрационные речные воды оказывают большое влияние на обводнение рудника.

Анализ всех имеющихся материалов по стоку рек в районе Миргалимсайского месторождения позволил рассчитать потери речных вод на инфильтрацию (среднедекадные, среднемесячные и среднегодовые).

При возобновлении стока в зимне-весенний период вся речная вода тратится на инфильтрацию в грунты. Объем воды, поглощенной трещинно-карстовыми карбонатными породами до возобновления стока на всем протяжении реки, зависит от влагонасыщенности массива.

В период резкого увеличения паводочных расходов большая часть речных вод проходит транзитом вниз по течению, не успевая просочиться в карбонатные породы. Однако чем больше расходы воды в реке, тем больше инфильтрационные потери из нее.

Поэтому для исследуемых рек были построены графики связи между расходом воды на вышележащем створе и потерями речных вод на нижележащем участке (рис. 12). Эти зависимости в средней и верхней частях могут быть аппроксимированы прямыми линиями.

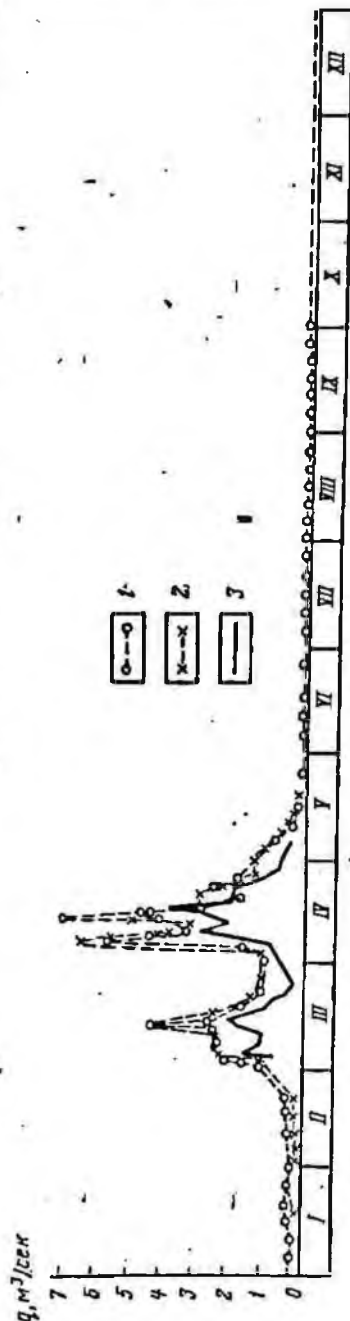


Рис. 11. Изменение стока на р. Баялдыры между постами 26 и 37
1 — пост 26; 2 — пост 11; 3 — пост 37.

При построении рассматриваемых графиков выявились три группы точек: а) для периода, когда вся речная вода полностью тратится на инфильтрацию в грунты; б) для всего остального периода

$Q_{11-37}, \text{ м}^3/\text{сек}$

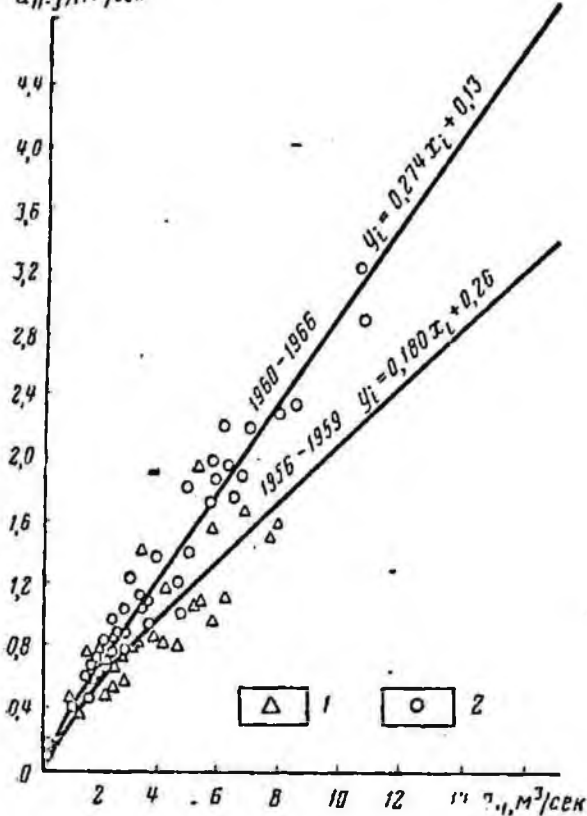


Рис. 12. График связи между расходами р. Баялдыр (пост 11) и потерями воды на инфильтрацию на участке между постами 11 и 37
1 — 1956—1959 гг.; 2 — 1960—1966 гг.

периода наличия стока, охватывающего в основном весенний паводок; в) дефектные точки, для которых за счет значительной боковой приточности и склонового стока потери речных вод были определены явно неправильно.

Указанные выше зависимости были построены и рассчитаны для точек группы «в». Для точек группы «а» потери речных вод на инфильтрацию рассчитывались по полученным уравнениям регрессии в зависимости от расхода воды на вышележащем створе. Точки группы «а» при корректировке результатов оставались без изменений.

Анализ фактических данных — показал, что точки группы «б» для 1956—1959 гг. и

для 1960—1966 гг. ложатся на разные прямые, уравнения регрессии которых приведены на рис. 12. Причина существования двух различных кривых для каждой из рек за рассматриваемый период времени заключается в том, что исследуемые участки рек находятся в зоне влияния шахтного водоотлива Миргалмсайского рудника. В 1960 г. наблюдалось интенсивное развитие горных работ на VII и IX горизонтах, в результате чего был вскрыт основной поток подземных вод рассматриваемого района. Таким образом, на изменение величины русловой инфильтрации (ее увеличение) оказало влияние развитие рудника, что и отразилось на положении указанных прямых.

По величине зависимости инфильтрационных потерь на нижележащем участке от расходов воды в вышележащем створе были определены расчетные величины речных потерь (табл. 7).

Наибольшие расхождения между фактическими и вычисленными величинами отмечаются в 1958, 1959, 1961, 1964 гг. Эти годы отличались значительной боковой приточностью во время весеннего половодья, которая не была учтена при проведении гидрометрических работ.

Таблица 7

Среднегодовые величины русловой инфильтрации

Год	Русловая инфильтрация, м ³ /с (вычисленная)			Суммарная русловая инфильтрация по фактическим данным, м ³ /с
	р. Баялдыр, 11-37	р. Биресек р. Хантаги* (39+19)-30	Суммарная	
1956	0,52	0,29	0,81	0,70
1957	0,35	0,20	0,55	0,64
1958	0,66	0,51	1,17	0,91
1959	0,46	0,27	0,73	0,42
1960	0,59	0,32	0,91	0,87
1961	0,42	0,36	0,78	0,61
1962	0,58	0,49	1,07	1,10
1963	0,30	0,20	0,50	0,49
1964	1,01	0,91	1,92	1,27
1965	0,29	0,27	0,56	0,55
1966	0,28	0,36	0,64	0,65

* Инфильтрационные потери на реках Биресек и Хантаги рассчитаны между постами 39 и 19 до места их слияния у поста 30.

Связь между расходами воды в реке и величиной инфильтрационных потерь из нее, для карстового бассейна, расположенного на Южном Урале, исследовали О. Б. Скиргелло, В. А. Баранов и Л. Н. Попов.

Зависимость между стоком и потерями в карст, построенная О. Б. Скиргелло [89], основывается всего лишь на 4-х точках, что не дает возможности сделать какие-либо выводы. Позднее, в 1952 и 1956 гг. материалы наблюдений по этому же объекту были обработаны В. А. Барановым и Л. Н. Поповым. Эти данные показали, что величина инфильтрационных потерь зависит не только от объема речного стока, но и от запасов подземных вод в массиве перед наступлением паводка, которые могут быть охарактеризованы минимальным предпаводочным уровнем воды в режимной скважине. Построенный ими график связи речного стока и инфильтрационных потерь представляет собой семейство кривых параболического типа, выходящих из начала координат, где каждая кривая соответствует определенному положению уровня подземных вод. На этом графике хорошо видно, что если уровень воды в скважине располагается выше некоторой критической отметки, то инфильтрация из реки практически отсутствует. Это объясняется тем, что при высоком положении зеркала подземных вод в карстовом массиве нет свободных емкостей, которые могли бы аккумулировать инфильтруемую речную воду.

Сравнивая аналогичные графики, построенные нами и выше указанными авторами, интересно отметить следующее.

Реки района Миргалимсайского месторождения на значительных участках в пределах воронки депрессии прямо гидравлически не связаны с трещинно-карстовым водоносным горизонтом и в результате действия мощного шахтного водоотлива находятся в «подвешенном» состоянии большую часть года. Поэтому инфильтрация из них почти не зависит от положения уровня трещинно-карстовых вод в отдельные годы. Вследствие этого, вместо семейства кривых на графике Л. Н. Попова и В. А. Баранова, для рассматриваемых рек зависимость между стоком и величиной инфильтрационных потерь выражается одной кривой, соответствующей крайней кривой на графике Л. Н. Попова и В. А. Баранова при очень низком положении уровня подземных вод, когда он уже не оказывает влияния на процесс инфильтрации воды из русла и когда инфильтрационные потери в реке при данной величине стока максимальные.

В условиях развитой депрессионной воронки наличие свободных емкостей не лимитирует величину инфильтрации. Последняя определяется лишь тем, сколько воды при данных напорах и данной площади смоченного периметра успеет просочиться во вмещающие породы, поэтому наша кривая приближается по своей форме к прямой линии.

На режим фильтрации и изменение уровня подземных вод карстового массива оказывает влияние также тот факт: являются ли рассматриваемые реки постоянно или периодически действующими водотоками.

Река на Южном Урале, изучавшаяся В. А. Барановым и Л. Н. Поповым, имеет сток в течение всего года, за исключением зимних месяцев отдельных маловодных лет. Подрусловой поток сохраняется даже в самые маловодные периоды. Поэтому питание трещинно-карстового водоносного горизонта за счет инфильтрации речных вод происходит постоянно, хотя и значительно меняется по величине в течение года. В этих условиях устанавливается тесная связь между поверхностными и подземными водами, и положение зеркала подземных вод оказывает большое влияние на величину русловой инфильтрации.

На реках района Миргалимсайского месторождения сток наблюдается только часть года, подрусловой поток также является периодическим на значительном протяжении. Поэтому питание трещинно-карстового водоносного горизонта инфильтрационными водами часть года почти отсутствует. Это приводит к тому, что, во-первых, величина сбросов и амплитуда колебания уровней подземных вод увеличиваются и, во-вторых, при появлении поверхностного стока некоторый период времени весь сток тратится полностью на инфильтрацию. Поэтому влияние уровня воды водоносного горизонта на величину инфильтрации из временно действующих поверхностных водотоков сказывается в меньшей степени.

Для изучения закономерностей в изменении русловой инфильтрации нами строились графики связи интегральных сумм (с начала года) стока реки на вышележащем створе и соответствующих им объемов инфильтрационных потерь речного стока на нижележащем участке (рис. 13).

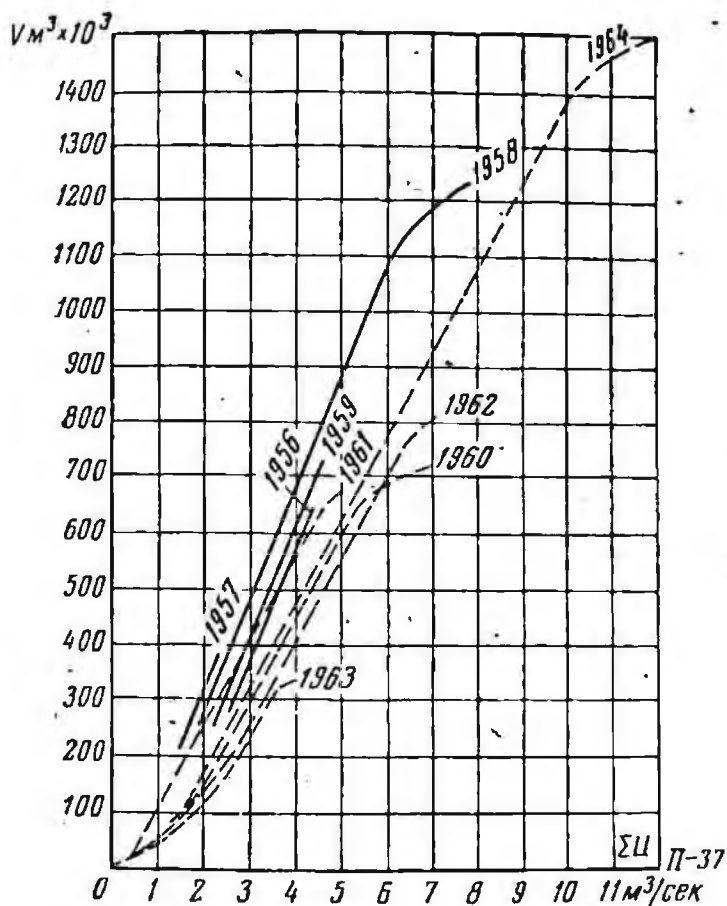


Рис. 13. График интегральных объемов речного стока р. Баялдыр (пост 11) и инфильтрационных потерь на участке между постами 11 и 37

Как видно из рис. 13, рассматриваемые графики состоят из трех частей. В крайних нижней и верхней частях этого графика кривая располагается под углом, близким к 45° (в случае равенства масштабов по обеим осям). Эти участки кривой построены по точкам группы «а» и по тем точкам группы «б», которые располагаются в нижней криволинейной части зависимости, изображенной на рис. 12.

Средняя часть графика представляет собой прямую, уклон которой зависит от отношения приращения объема потерь к приращению стока реки за тот же промежуток времени. Внутри каж-

дого из выделенных выше периодов 1956—1959 и 1960—1966 гг. прямые отрезки интегральных графиков параллельны между собой. Из этого следует, что для данного участка реки отношение приращения инфильтрационных потерь к приращению речного стока (в период паводка) есть величина постоянная, не зависящая от водности отдельных лет. Это позволяет рассматривать уклон средней части интегральной кривой в качестве показателя фильтрующей способности ложа реки.

Таким образом, показатель фильтрующей способности русла I равен

$$I = \frac{\Delta U}{\Delta V}, \quad (13)$$

где ΔU — приращение объема фильтрационных потерь, м^3 ;

ΔV — приращение объема речного стока за тот же промежуток времени, м^3 .

Показатель фильтрующей способности русла реки I может изменяться только с изменением условий инфильтрации. Так, на изучаемых реках рост фильтрационных потерь был вызван, как уже говорилось выше, влиянием рудничного водоотлива.

Показатель I был вычислен нами для р. Баялдыр на участке между постами 11 и 37 и совместно для р. Биресек от поста 39 до устья и р. Хантаги от поста 19 до поста 30, расположенного ниже слияния этих рек. Полученные результаты приведены в табл. 8.

Таблица 8

Значение I для рек Баялдыр, Биресек и Хантаги

Год	Баялдыр (11—37)		р. Биресек + р. Хантаги (39 + 19) — 30	
	I	% возрастания, I	I	% возрастания, I
1956—1959	0,21	33	0,14	35
1960—1966	0,28		0,19	

Из таблицы 8 можно сделать следующие выводы.

Река Баялдыр на участке между постами 11 и 37 характеризуется большей фильтрующей способностью ложа реки, чем реки Биресек и Хантаги между указанными выше постами. В результате действия рудничного водоотлива инфильтрация на исследуемых реках увеличилась в среднем за период 1960—1966 гг. по сравнению с периодом 1956—1959 гг. на 33—35%.

На рисунке 13 видно, что кривые смещены относительно друг друга. Это вызвано различием условий зимне-весеннего периода (увлажнением грунтов, интенсивностью нарастания речного стока в начале паводка и др.).

Возможность построения указанных графиков и расчета показателя фильтрующей способности русла реки I приведенным способом обусловлена гидрологическими и гидрогеологическими особенностями изучаемого района (периодичность стока рек, отсутствие зависимости величины инфильтрации от положения подземных вод). Следствием этого явилось то, что зависимость между расходом реки на вышележащем створе и фильтрационными потерями на нижележащем участке выражается одной прямой линией (а не семейством кривых).

В других природных условиях рассматриваемые зависимости будут выражаться иначе и требуют специального изучения.

На режим водопритоков особенно большое влияние оказывают русловые воды в пределах развития депрессионной воронки. Эти воды по зонам тектонических нарушений могут за несколько дней попадать в горные выработки. Поэтому появление и последующий рост поверхностного стока и русловой инфильтрации в весенний период вызывает резкое возрастание рудничных водопритоков. Это обстоятельство используется нами для прогноза максимальных притоков воды в систему горных выработок, которые определялись в зависимости от суммарной русловой инфильтрации на реках Баялдыр, Биресек и Хантаги на участках, расположенных в зоне влияния шахтного водоотлива. В связи с этим возникла задача определения вероятностных величин суммарной русловой инфильтрации для лет различной водности.

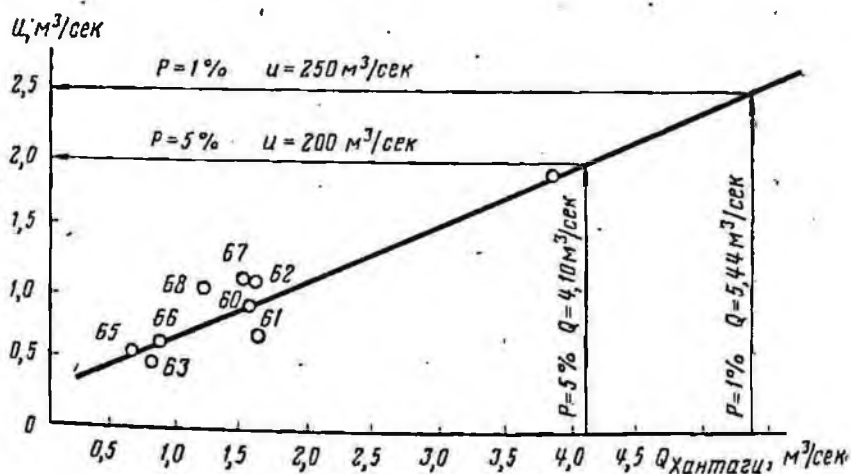


Рис. 14. График зависимости между среднегодовыми потерями речных вод, инфильтрацией и водностью года

Среднегодовая инфильтрация может рассматриваться как функция водности года или, что то же самое, как функция годовой суммы осадков. Однако более тесная связь получается в том случае, если в качестве аргумента берутся не осадки, а поверхностный сток в каком-нибудь характерном створе. При этом из рас-

смотрения исключаются некоторые факторы, влияющие на формирование поверхностного стока (например, увлажненность грунтов в осенне-зимний период).

Для рассматриваемого района, как указывалось выше, таким характерным створом является р. Хантаг-Карачик — пост 30, имеющий наиболее длинный ряд наблюдений. График связи среднегодовых расходов воды в указанном створе и суммарных для района потерь речных вод на инфильтрацию показан на рис. 14*. Приводимая зависимость выражается прямой линией, уравнение регрессии которой равно $y_i = 0,44x_i - 0,24$. Коэффициент корреляции между указанными величинами составляет $r = 0,91$. Прямая пересекает ось абсцисс при $u = 0,24$ м³/с. Это объясняется тем, что створ р. Хантаг-Карачик у поста 30 расположен гипсометрически ниже тех участков рек, на которых определялись потери воды на инфильтрацию. Поэтому, когда на этом посту сток отсутствует, то выше по течению он еще имеет место и, следовательно, частично тратится на инфильтрацию.

Используя полученную зависимость и значения среднегодовых расходов р. Хантаг-Карачик у поста 30, заданной обеспеченности, можно получить величины русловых потерь воды той же обеспеченности (по уравнению регрессии или графическим путем). Параметры и ординаты кривой обеспеченности р. Хантаг-Карачик у поста 30 приведены в § 1 настоящей главы. Приведем величины русловой инфильтрации: обеспеченность равна 1; 5; 10; 20; 50; 75; 90; 95; 97%, а средняя годовая инфильтрация соответственно составляет 2,50; 2,00; 1,74; 1,44; 1,01, 0,74; 0,58; 0,49; 0,45 м³/сек.

§ 3. Геолого-гидрогеологическая характеристика

Геологическое строение. Рассматриваемый район Центрального Каратау является частью многоэтажного складчатого сооружения современного хр. Каратау, сформировавшегося в результате нескольких геосинклинальных тектонических циклов.

Древнейший этаж Каратау — байкальский — образован породами протерозойского возраста, развитыми в осевой части хребта. Следующий, каледонский, структурный этаж сложен породами нижнего палеозоя, и, наконец, варисский этаж образован отложениями среднего палеозоя, залегающими резко несогласно на дислоцированных породах более древних этажей.

Палеозойские отложения широко распространены на дневной поверхности юго-западного склона Центрального Каратау (рис. 15). В прилегающей к нему Северо-Кызылкумской синеклизе они погружаются под мощную толщу мезо-кайнозойских пород (рис. 16). Отложения нижнего палеозоя представлены метаморфиз-

* При построении этого графика были учтены величины русловой инфильтрации, полученные в результате работ ГГИ.

зованными осадочными породами кембрия и ордовика общей мощностью до 6—7 км. Они распространены в большом удалении от Миргалимсайского месторождения. Стратиграфический разрез среднепалеозойских отложений начинается песчаниками, конгломератами и алевролитами нерасчлененного среднего и верхнего девона (тюлькубашская свита). Эти породы слагают центральные

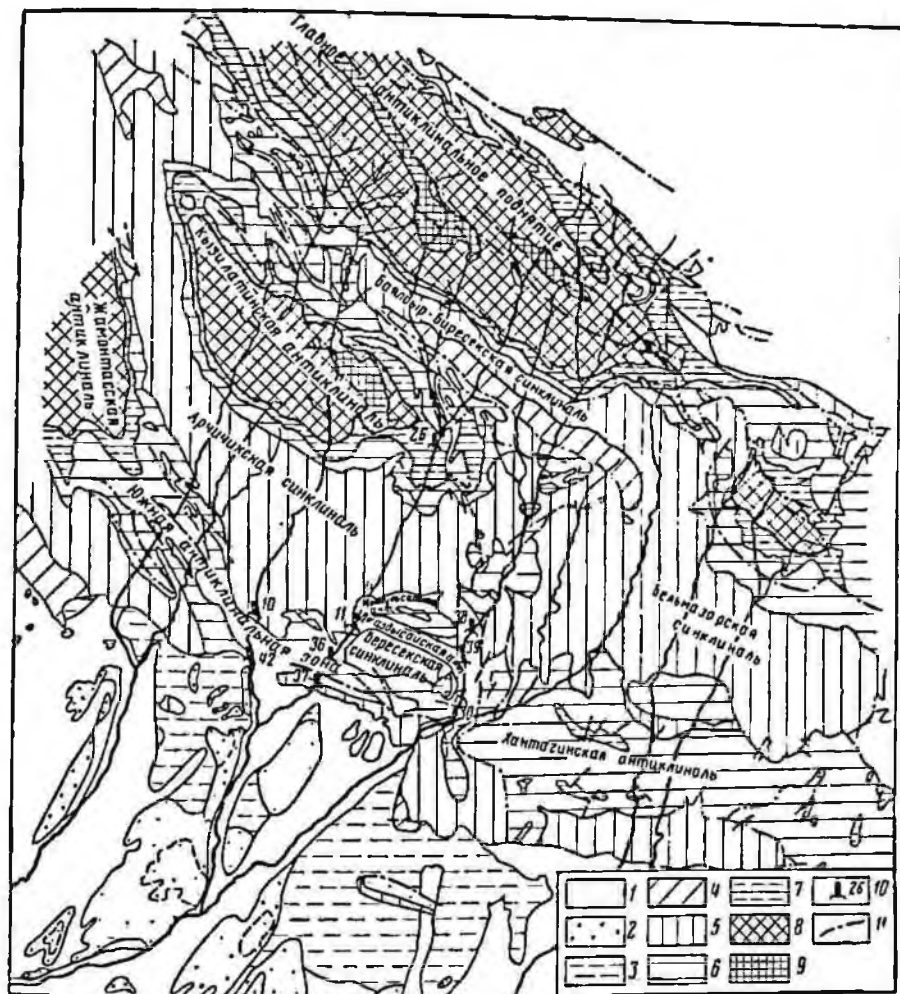


Рис. 15. Схема геологического строения юго-западного склона хр. Каратау (по материалам Чулак-Курганской гидрогеологической партии):

1 — четвертичные отложения (суглинки, пески, валуны) Q; 2 — третичные образования (глины, конгломераты, песчаники с прослоями песков, известняков и доломитов) Pg+N; 3 — меловые породы (плотные глины, пески и мелкогалечные конгломераты) Pg+N; 4 — отложения визейского яруса карбона (известняки, мергели, песчаники, алевролиты и аргиллиты) C; 5 — отложения турнейского яруса карбона (известняки, и их брекчии) St; 6 — отложения фаменского яруса верхнего девона (известняки, глинистые известняки, доломиты и мергели) D₃fm; 7 — отложения франского яруса верхнего девона (алевролиты, аргиллиты и мергели) D₃fr; 8 — отложения тюлькубашской свиты среднего, верхнего отдела девона (аркозовые песчаники, конгломераты, редко аргиллиты и алевролиты) D₂z; 9 — силурийские отложения (полимиктовые песчаники и глинистые сланцы) S; 10 — гидрометрические посты; 11 — разломы

части наиболее крупных антиклинальных структур (Главное антиклинальное поднятие, Кызылатинская антиклиналь). Общая мощность отложений свиты достигает 150—165 м.

Выше залегают отложения франского и фаменского ярусов девона, представленные алевролитами, аргиллитами, известняками

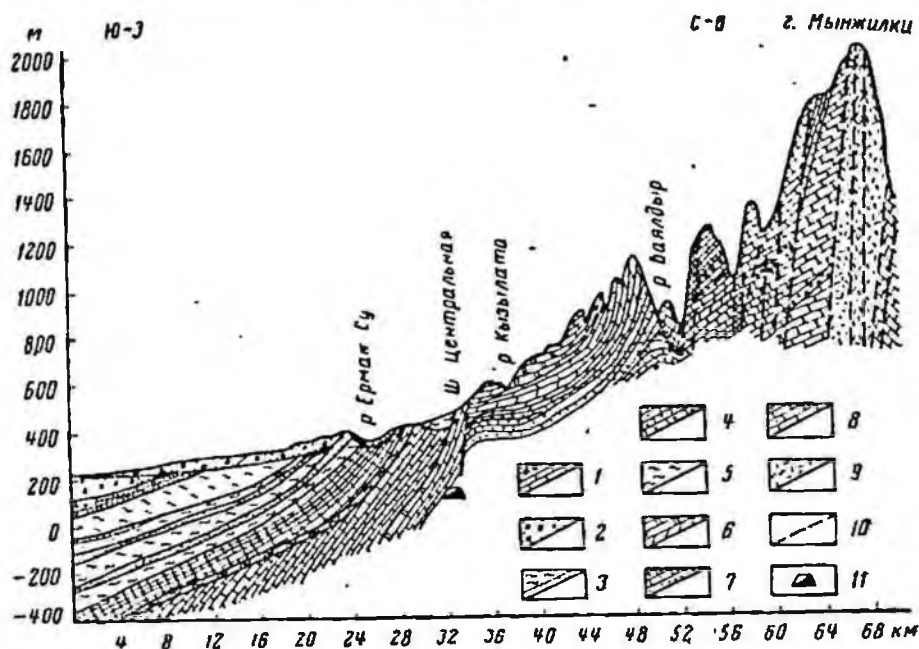


Рис. 16. Схематический геологический профиль юго-западного склона хр. Каратау (по материалам Чулак-Курганской гидрогеологической партии)

1 — водоносные пески, галечники, суглинки четвертичного возраста; 2 — водоносные галечники плейстоцен-нижнечетвертичного возраста; 3 — палеогеновые глины с водоносными эоценовыми песками; 4 — водоносные пески верхнего мела; 5 — водоупорные глины нижнего мела; 6 — комплекс водоносных пород известняков и доломитов нижнего карбона и верхнего мела; 7 — песчаники, алевролиты, аргиллиты среднего и верхнего девона, слабоводоносные в верхней трещиноватой зоне; 8 — песчано-глинистые и карбонатные отложения нижнего палеозоя, водоносные в верхней трещиноватой зоне; 9 — протерозойский комплекс; 10 — тектонические нарушения; 11 — горные выработки XIII горизонта

и доломитами. Залегающий в основании фаменского яруса аргиллитовый горизонт играет существенную роль в формировании гидрогеологических условий района. Некоторыми исследователями он выделяется в отдельный франский ярус. Аргиллиты выходят на поверхность в центральных частях антиклинальных структур (Кенкольской, Ионкульсайской и др.). По своему составу они представляют глинисто-туфовые осадки, интенсивно перемятые и метаморфизованные, иногда туфобрекчии конгломератовидной текстуры. Мощность аргиллитового горизонта составляет 90—300 м. Характер залегания аргиллитов весьма неравномерный. Отметки кровли аргиллитов изменяются от +50 до —400 м абс. К северу и север-северо-западу от месторождения в ядре Арчичикской синклинали аргиллиты погружаются на глубину 900—1100 м от по-

верхности, а в Южной антиклинальной зоне они выходят на дневную поверхность, образуя барьер на пути движения подземных вод.

Непосредственно на аргиллитовом горизонте залегает карбонатная толща фаменского яруса, состоящая из чередующихся слоев известняков и доломитов комковатой, слоистой (плитчатой) и тонкослоистой (ленточной) текстуры, подразделяемых на 10 горизонтов. Один из них, второй ленточный, является рудным. Общая мощность фаменской свиты на Миргалимсайском месторождении составляет 350 м.

Разрез палеозоя завершается карбонатными нижнекаменноугольными отложениями, среди которых широкое развитие получили известняки и доломиты турнейского и в меньшей мере визейского ярусов. По литолого-стратиграфическим и текстурным признакам слагающих пород нижнекаменноугольные отложения подразделяются на пять горизонтов. Общая их мощность составляет 700—750 м. В целом нижнекаменноугольные карбонатные породы отличаются от фаменских известняков меньшим содержанием глинистых примесей.

Мезо-кайнозойские отложения, распространенные в основном за пределами современного горного сооружения, в области Северо-Кызылкумской синеклизы, представлены глинами нижнего мела мощностью 15—80 м, песками и песчаниками с прослоями глин, а также конгломератами верхнего мела общей мощностью до 100 м и более. Мезо-кайнозойские породы залегают слегка наклонно к центру синеклизы. В них отмечаются пологие складки и разрывные смещения.

Отложения кайнозоя распространены в виде песчано-глинистых и карбонатных пород палеогена и неогена мощностью в несколько десятков метров. Общая мощность меловых и третичных пород не превышает 300 м.

Коренные породы на отдельных участках перекрыты четвертичными отложениями, которые имеют в районе незначительное распространение. Они представлены галечниками с песчано-глинистым заполнителем и песчано-гравелистыми аллювиальными образованиями мощностью до 25—30 м, а также делювиальными и эоловыми (субаэральными) глинами, суглинками и супесями мощностью 2—5 м.

В тектоническом отношении юго-западное крыло Каратауской антиклинали представляет собой сложный синклиниорий, состоящий из ряда чередующихся синклинальных и антиклинальных структур (см. рис. 15). С севера и северо-востока он ограничен Главным антиклинальным поднятием, а с юга и юго-запада — Южной антиклинальной зоной, в пределах которой на месторождении и к западу от него располагается Кенкольская антиклиналь. Крупнейшие синклинальные структуры, на площади которых формируется большая часть трещинно-карстового водоносного горизонта, обводняющего горные выработки, представлены Баял-

дыр-Биресекской, Арчичикской и Бельмазарской синклиналими. Они разделяются рядом антиклинальных поднятий, из которых наиболее обширной является Кызылатинская антиклиналь. Ядра синклиналичных структур сложены известняками карбона, ядра антиклиналей — доломитами и известняками девона и подстилающими их аргиллитами.

Вблизи месторождения можно отметить целый ряд складчатых структур III порядка, имеющих большое значение для движения подземных вод к горным выработкам. На севере от рудного поля располагаются: Ионкульсайская антиклиналь, южнее ее — одноименная синклиналь, затем Джаздысайская антиклиналь и Биресекская синклиналь; на востоке — Кантагинская и Карабулакская антиклинали, Сонкульская антиклиналь и синклиналь, Рудная антиклиналь и синклиналь; на западе — Кенкольская и Ансайская антиклинали.

Складчатые структуры осложнены разрывными нарушениями типа надвигов и взбросов, по которым наблюдаются более или менее значительные перемещения пород. Кроме того, широко распространены безамплитудные нарушения, выраженные зонами интенсивного брекчирования, смятия и трещиноватости.

Все надвиги имеют северо-западное направление, соответствующее общему простиранию складчатости. Углы падения плоскостей надвигов составляют $35-60^\circ$. Надвиговые швы местами представляют притертые трещины; обычно по надвигам развиты брекчированные зоны мощностью 20—50 м, а в местах сопряжения крупных надвигов мощность брекчированных участков увеличивается до 300 м. Амплитуда перемещения по надвигам изменяется в широких пределах, от десятков до 1000 м. Мелкие разрывные нарушения в пределах рудного поля представляют кососекущие продольные по отношению к направлению складчатости трещины, сопровождающие крупные надвиги, трещины растяжения, сдвиги и трещины напластования. В результате тектонической нарушенности рудное тело разделено на отдельные геологические блоки с различной мощностью, протяженностью и углами падения.

Широкое распространение карбонатных пород и интенсивная тектоническая нарушенность массива создают благоприятные условия для развития карста. В районе Каратау карст имеет характерные особенности среднеазиатского типа: наряду с широким развитием пещер, ниш и навесов почти полностью отсутствуют провальные формы (воронки, поноры и т. д.). Наибольшие карстопроявления тяготеют к крупным зонам тектонического дробления пород и тектоническим трещинам. Особенно интенсивно карстообразовательные процессы протекают в известняках карбона, лишенных значительных примесей глинистых частиц. Размеры карстовых полостей достигают здесь нескольких сотен кубометров.

В исследуемом районе выделяют две генерации карстовых форм: древние и молодые. Наиболее важным в развитии карста

был домеловой этап. Интенсивное развитие его происходило также в верхнем триасе и юре. Поверхностные формы древнего карста чаще всего погребены под меловыми и третичными отложениями и заполнены красноцветными глинами и песчаниками меловых отложений.

Развитию карста способствовали разрывные дислокации и тектоническая трещиноватость пород, а также сульфидная минерализация в карбонатных отложениях. В меловое и палеогеновое время обстановка в Каратау изменилась. Произошло снижение активности водообмена и затухание карстовых процессов. В неогене и четвертичном периоде Каратау вновь становится областью питания и транзита подземных вод, что приводит к активизации карстовых процессов, протекающих особенно интенсивно вдоль древнего карста. Развитие карста в Каратау происходит и в настоящее время.

Подземные воды. На юго-западном склоне Центрального Каратау и в прилегающей к нему депрессии развито несколько водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных к породам разного возраста и литологического состава. Здесь выделяют следующие типы подземных вод: 1) трещинно-грунтовые воды песчано-сланцевых отложений нижнего девона; 2) трещинно-карстовые воды известняков девона и карбона; 3) артезианские пластово-поровые воды меловых и третичных песчано-глинистых отложений; 4) грунтовые воды четвертичных отложений.

Трещинно-грунтовые воды приурочены в основном к породам тюлькубашской свиты: песчаникам, конгломератам, мергелям. Участки развития этих пород характеризуются благоприятными условиями питания подземных вод вследствие их хорошей обнаженности и большого количества выпадающих атмосферных осадков на площади их развития. Наиболее водоносными из пород этой свиты являются песчаники, воды которых питают основные реки района.

Трещинно-карстовые воды играют основную роль в обводнении горных выработок. Они приурочены к породам девона и карбона: трещиноватым и закарстованным известнякам и доломитам.

Комплекс известняков карбона более обводнен и водообилен, поскольку последние отличаются более чистым составом с меньшим количеством глинистых частиц. Известняки карбона, как правило, имеют открытую трещиноватость, распространяющуюся на значительную глубину.

Величина коэффициента фильтрации, по материалам В. С. Жеваго, в породах карбона колеблется от 0,3 до 953 м/сут, а породах девона, — от 0,12 до 76 м/сут.

Несмотря на различную водообильность карбонатных пород девона и карбона, к ним приурочен единый водоносный горизонт, имеющий общую область питания и общий базис дренажа. Водопроницающие свойства карбонатных пород весьма неравномерно

распределены как по площади, так и на глубину. Наибольшие коэффициенты фильтрации имеют место в тектонически нарушенных и закарстованных зонах. Среднее значение коэффициента фильтрации массива карбонатных пород составляет 3 м/сутки.

По данным фактических водопритокков в горные выработки видно, что величина коэффициента фильтрации до глубины IX горизонта (207 м от поверхности земли) составляет 4,0 м/сутки, а до глубины XIII горизонта (322 м от поверхности земли) 1,7 м/сут.

Основными путями движения потока трещинно-карстовых вод являются разрывные нарушения первого и второго порядка, секущие как девонские, так и карбоновые структуры. При этом водообильными зонами являются не только сами тектонические трещины, но и связанные с ними зоны дробления шириной 200—300 м.

Участки, где тектонические нарушения отсутствуют, являются относительно малопродуктивными.

Питание трещинно-карстовых вод в основном осуществляется:

- а) за счет поверхностных вод речных систем, приносящих свои воды из смежных, гипсометрически выше расположенных структур;
- б) за счет выпадающих на площади бассейна атмосферных осадков.

Как уже указывалось выше, поверхностные водотоки, выходя за пределы развития тюлькубашских песчаников, где они получают основное питание, и, попадая в область распространения карбонатных пород палеозоя, теряют значительную часть стока на фильтрацию по трещинам и карстовым пустотам коренных пород. Поэтому часть года средние и нижние части речных долин остаются сухими. Этот источник питания трещинно-карстовых вод является весьма важным для исследуемого района.

Питание изучаемого гидрогеологического бассейна атмосферными осадками, выпадающими на площади распространения карбонатных пород, происходит в период выпадения весенних и осенних дождей и таяния снега. Летние осадки в питании подземных вод, по-видимому, не принимают участия, так как, выпадая на сильно нагретую почву при интенсивных ветрах, они целиком идут на испарение. Поэтому даже наблюдаемые иногда значительные летние дожди не оказывают влияния на уровни подземных вод.

Режим трещинно-карстового водоносного горизонта находится в прямой зависимости от режима источников питания. Минимальное стояние уровня воды в разные годы в зависимости от интенсивности выпадения осенних жидких осадков или таяния снегового покрова наблюдается между октябрём и февралём. Максимум его приурочивается к апрелю—маю. Амплитуда колебания уровня в естественных условиях составляла в среднем около 12—15 м, а в настоящее время под влиянием работы водоотлива возросла на отдельных участках вблизи рудника до 80 м и более.

Наклон юго-западного склона хр. Каратау определяет общее направление потока трещинно-карстовых вод, отклонения от которого обуславливаются структурно-геологическими особенностями

исследуемого района. Движение подземных вод по отдельным син-клиналильным складкам зависит от простираения и наклона осей последних, а также от глубины залегания аргиллитового водоупора.

Подземные воды, двигаясь от водораздельной части Каратау в сторону предгорной депрессии, встречают на своем пути Южную антиклинальную зону, образующую ряд брахиантиклиналей, в ядрах которых водоупорные аргиллиты выходят на дневную поверхность. Обтекая участки с повышенными отметками, подземные воды направляются в прогибы между антиклинальными складками, которые являются как бы «воротами» для прохода их к югу. Такие прогибы расположены в двух местах. Один из них — Миргалимсайский, расположен между выходами аргиллитов в Кенкольской антиклинали и в долине р. Хантаги и второй — Атабайский — между Кенкольской и Жамонтасской антиклиналями в междуречье Кызылата — Ермал-Узень.

На востоке района подземные воды проходят через восточную оконечность Южной антиклинальной зоны. Неглубокое залегание здесь водоупорных аргиллитов вдоль осей антиклинальных складок весьма затрудняет их движение. Частично разгрузка подземных вод происходит по аллювию речных долин.

Движение подземных вод в непосредственной близости от месторождения определяется наличием складчатых структур III порядка, в сильной степени трещиноватых.

Поскольку Миргалимсайское месторождение ограждено с запада, севера и востока антиклиналями, в ядрах которых аргиллиты выходят на дневную поверхность или располагаются близко к ней, то вблизи рудника создается подпор потока подземных вод. Последние скапливаются в синклиналильных структурах и по трещиноватым зонам вдоль тектонических нарушений направляются в сторону Миргалимсайского прогиба. Рудное поле, располагаемое в наиболее пониженной части этого прогиба, лежит, таким образом, на пути движения подземных вод. Поэтому положение тектонических нарушений на площади месторождения в первую очередь определяет условия обводнения горных выработок.

Наиболее значительные водопроявления связаны на руднике с зонами Главного и Южного надвигов.

Породы зоны Главного надвига почти на всем протяжении неравномерно трещиноваты. Здесь, среди сильно обводненных участков, встречаются блоки слабоводоносных пород.

К юго-востоку от шахты «Центральная» зона сильно водоносных пород Главного надвига сопрягается с такой же зоной Южного надвига.

Как указывает В. С. Жеваго, Главный надвиг с сопутствующей ему зоной трещиноватых пород продолжается далее к юго-востоку, пересекая долину р. Хантаг-Карачик.

К северу-востоку от рудника исследователи выделяют зону сильно обводненных пород северо-восточного простираения, подводящую воду со стороны долины р. Биресек [36; 87].

В южной части месторождения также обнаружена зона с повышенной водопроницаемостью пород, по которой к руднику поступают подземные воды, прошедшие через Атабайские ворота.

В краевой части Присырдарьинской депрессии, где отложения палеозоя погружаются под мезо-кайнозойские породы, трещинно-карстовые воды приобретают напорный характер. Величина напора зависит от глубины залегания водоносных отложений. Пьезометрические уровни в скважинах устанавливаются нередко на 15—20 м выше поверхности земли. Под влиянием постоянно действующего рудничного водоотлива в районе Миргалимсайского месторождения произошло резкое изменение естественного гидрогеологического режима. Местным базисом эрозии подземного потока трещинно-карстовых вод в естественных условиях были родники, расположенные к югу от месторождения.

С развитием и углублением горных работ на Миргалимсайском руднике базисом дренажа стали горные выработки, в которые поступает значительное количество воды (около 12 000 м³/ч в среднем за год).

В результате работы шахтного водоотлива образовалась обширная депрессионная воронка площадью более 1000 км². Развитие воронки наиболее интенсивно происходит на северо-запад, юг и юго-восток от месторождения. В этих направлениях радиус влияния достигает 25 км и более. В северном и северо-восточном направлениях, т. е. вверх по потоку, воронка депрессии развивается более медленно. Радиус влияния в этих направлениях составляет около 7 км. Депрессионная воронка здесь фактически стабилизировалась, так как она достигла аргиллитов Ионкульсайской антиклинали. Таким образом, депрессионная воронка имеет асимметричную форму (рис. 17) и вытянута параллельно основным тектоническим нарушениям района.

Уровень подземных вод в центре депрессионной воронки опустился до глубины 260 м, а среднее его понижение от естественного вблизи рудника составило 210 м.

В сферу влияния шахтного водоотлива постепенно вовлекаются все новые реки и родники. Понижение уровня подземных вод вблизи речных долин привело к росту инфильтрационных потерь воды из рек и увеличению динамических запасов подземных вод района. Снижение уровней подземных вод привело к пересыханию родников Чага, Котур-Булак, Шаштюбе и др.

В связи с развитием горных работ на глубину и ростом рудничного водоотлива происходит размыв залеченных трещин и карстовых пустот. Вынос глинистого заполнителя из них в горные выработки способствует существенному увеличению их водообильности и перераспределению притоков воды с верхних горизонтов на нижние. В результате раскольматации трещин, пересекаемых горными выработками, на месторождении происходит более интенсивная циркуляция подземных вод, с большими скоростями и на больших глубинах. Это вызывает снижение зеркала грунтовых вод и приводит к

дополнительным денежным затратам на рудничный водоотлив. Процессы раскольматации, имеющие для эксплуатации Миргалим-сайского рудника весьма большое значение, до настоящего времени изучены недостаточно полно.

Артезианские пластово-поровые воды меловых и третичных отложений имеют широкое распространение

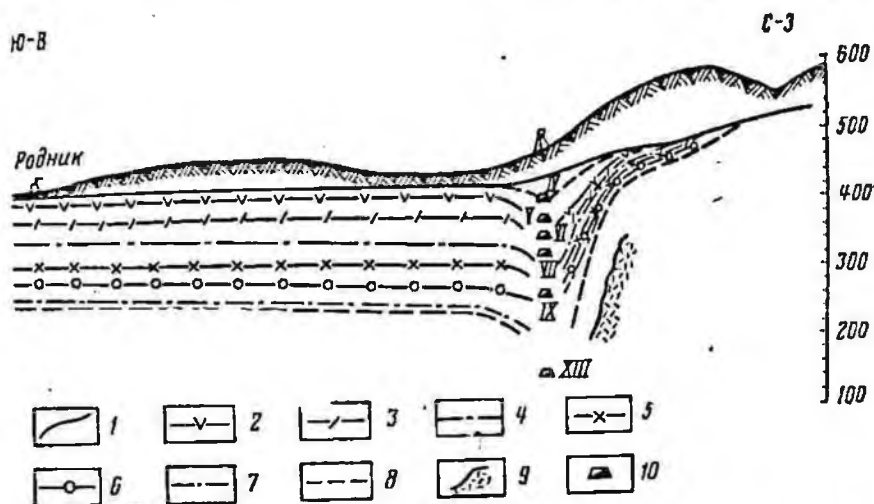


Рис. 17. Схематический разрез депрессионной воронки подземных вод на разных этапах ее развития (по Г. Н. Кашковскому)

1 — естественный меженный уровень подземных вод. Снижение уровня подземных вод при суммарных водопритоках $\text{м}^3/\text{г}$: 2 — 1956 г. — 4500 — V; 3 — 1958 г. — 7000 — VI; 4 — 1960 г. — 9500 — VII, IX; 5 — 1962 г. — 1100 — IX; 6 — 1965 г. — 1000 — IX, XIII; 7 — 1966 г. — 10500 — XIII, IX; 8 — 1968 г. — 11500 — XIII; 9 — водоупорные аргиллиты; 10 — основные горизонты горных выработок и их номера

в предгорной части хр. Каратау. Они приурочены к пескам различного гранулометрического состава, песчаникам и песчано-галечным разностям мощностью от 5 до 100 м и более. Водоносный комплекс является краевой частью крупного артезианского бассейна При-сырдарьинской депрессии, ограниченной на севере выходами на дневную поверхность известняков карбона и девона и погружающейся к югу в сторону долины р. Сырдарья.

Пластово-поровые воды имеют значительный напор и поэтому. Пьезоскважины, пробуренные в меловых породах, фонтанируют. Пьезометрический уровень устанавливается на абсолютных отметках 300—320 м.

По результатам опытных откачек удельные дебиты скважин изменяются от 7 до 180 $\text{м}^3/\text{ч}$. Величина коэффициента фильтрации колеблется от 1 до 23 м/сут. Предполагается, что основным источником питания артезианского бассейна являются трещинно-карстником питания артезианского бассейна являются трещинно-карстовые воды, которые приобретают здесь напорный характер. Связь между трещинно-карстовых вод с водами меловых песков осуществляется по зонам тектонических нарушений, прорывающих разделяющие их глинистые прослойки, а также на участках, где меловые пески залегают

гают непосредственно на известняках. Воды меловых отложений получают питание также за счет атмосферных осадков и фильтрации воды из рек непосредственно на площади обнажения песков.

Грунтовые воды четвертичных отложений приурочены к аллювию речных долин, представленному галечно-валунным материалом с песчано-глинистым заполнителем.

Мощность аллювия не превышает 25—30 м, а в большинстве случаев значительно меньше. Максимальная ширина речных долин 500—600 м.

Величина коэффициента фильтрации аллювиального водоносного горизонта колеблется от нескольких метров до 65 м/сут.

Потоки грунтовых вод в аллювиальных отложениях (подрусловые потоки) тесно связаны с режимом речного стока и на значительном протяжении, так же как и реки, являются периодически действующими. Аллювиальные воды речных долин у выхода на равнину обычно появляются в то время, когда начинают функционировать реки. В меженный период подрусловые потоки сохраняются только в горной части, поддерживаемые минимальным речным стоком.

Грунтовые воды аллювиальных отложений имеют большое значение в питании трещинно-карстового водоносного горизонта, поскольку они являются связующим звеном между водами карбонатных пород и поверхностных водотоков.

По химическому составу подземные воды района относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевым с минерализацией от 140 до 500 мг/л и могут быть использованы для питьевого и хозяйственного водоснабжения.

По мере движения воды от водораздельных районов хребта вниз по склону общая минерализация воды увеличивается. Так, в верховьях рек Хантаги, Биресек и Баялдыр общая минерализация колеблется от 116 до 176 мг/л. В предгорьях она возрастает до 200—268 мг/л, а на отдельных участках рудного поля достигает 600 мг/л.

Воды мелового артезианского бассейна имеют наиболее высокое содержание солей — 335—569 мг/л.

Глава 8

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОПРИТОКОВ В ПРОЦЕССЕ ОРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Вскрытие Миргалимсайского месторождения было начато в 1941 г. В настоящее время горные работы проводятся в основном до XIII горизонта, имеющего глубину 322 м. Некоторые стволы шахт опущены до XVI горизонта и ниже.

Добыча полезного ископаемого ведется в основном без закладки выработанного пространства. Горные выработки в основном проходятся без притока воды. Только на отдельных участках, при-

уроченных к зонам тектонических нарушений, ими вскрываются сосредоточенные водопритоки, достигающие по отдельным зонам нескольких тысяч кубометров в час.

Первые два добычных горизонта проходились в сухих условиях. При отработке III горизонта появились незначительные притоки воды, которые по мере развития и углубления горных работ постепенно возрастали. В 1953 г. они достигли в среднем $800 \text{ м}^3/\text{ч}$. Однако до 1954 г. рост водопритокров происходил довольно медленно и почти не сказывался на снижении уровня подземных вод на месторождении (рис. 18). Притоки воды в рудник начали быстро увеличиваться лишь с 1954 г., когда стали проходить подготовительные выработки VI, VII и IX рабочих горизонтов и одновременно развивать северные выработки IV горизонта и сильно обводненный восточный фланг V горизонта. В последующие годы наблюдалось значительное возраста-

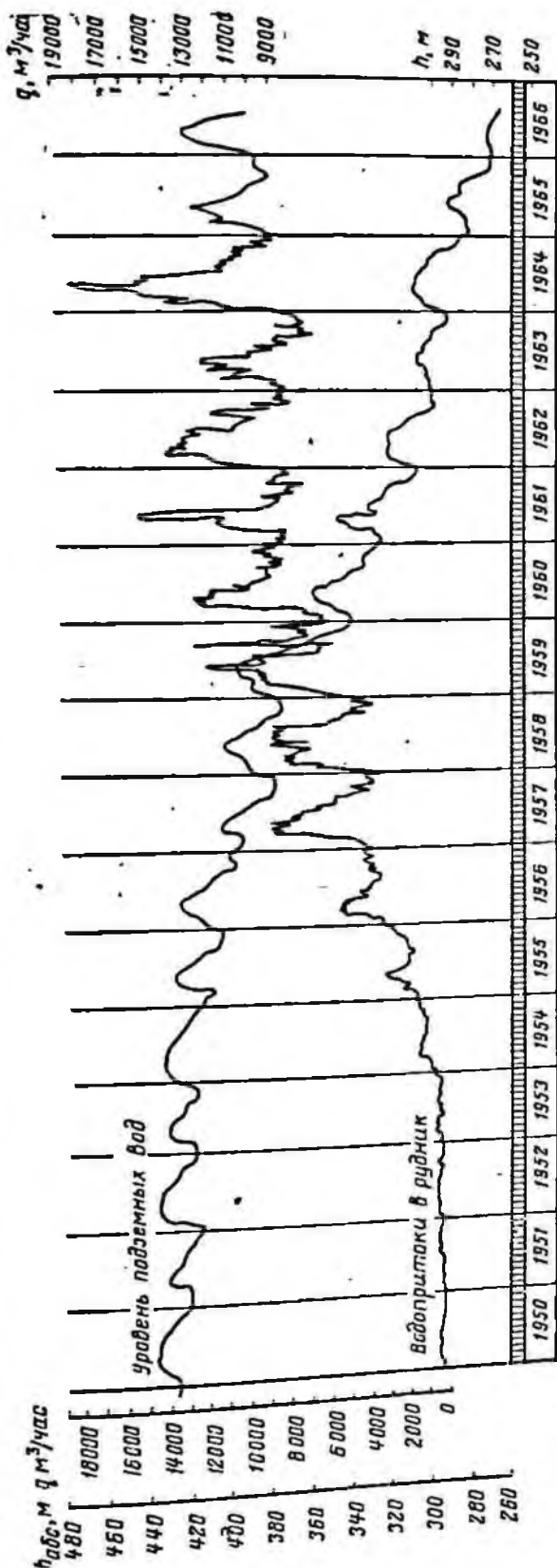


Рис. 18. Хронологический график изменения водопритокров в рудник Миргалимсай и уровней подземных вод в центре депрессионной воронки

ние суммарных рудничных водопритоков и вскрытие чрезвычайно водообильных зон. Так, в августе 1959 г. в забое квершлага, идущего от Центрального блока к Южному, произошел прорыв трещинно-карстовых вод из зоны Южного надвига с расходом $8700 \text{ м}^3/\text{ч}$. В 1960 г. суммарный водоотлив из Миргалимсайского рудника составлял уже $9650 \text{ м}^3/\text{ч}$, при этом только с IX горизонта откачивали около $4000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 19).

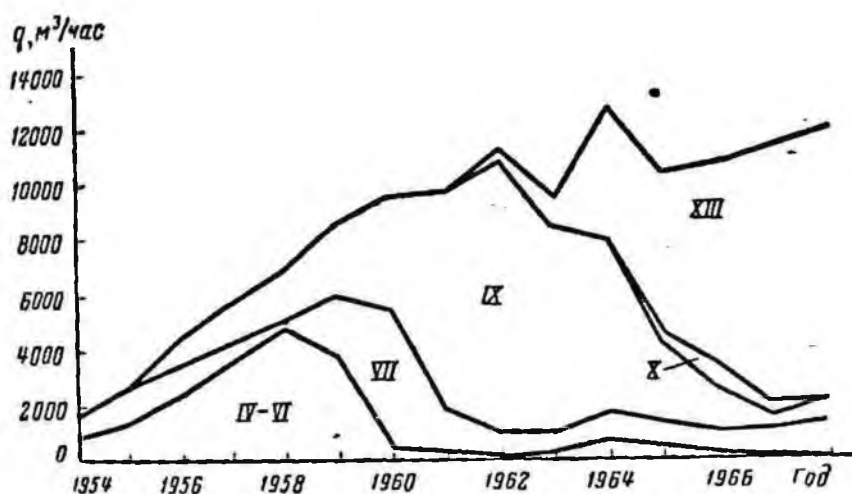


Рис. 19. График изменения водопритоков по горизонтам

Однако в последующие годы неуклонный рост суммарных рудничных водопритоков прекратился. Вскрытие новых крупных водонесных трещин, как правило, приводит лишь к перераспределению водопритоков между добычными горизонтами без существенного возрастания шахтного водоотлива в целом.

Наибольшие водопритоки в рудник наблюдались в многоводном 1964 г., когда средний за год расход превысил $12\,200 \text{ м}^3/\text{ч}$, а максимальный достиг $19\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Весьма важное значение для эксплуатации рудника имеет перераспределение водопритоков между горизонтами в процессе отработки месторождения. Это явление наблюдается примерно с 1957 г., когда на IV горизонте водопритоки уменьшились под влиянием дренажа на нижележащем V горизонте. Развитие работ на VI горизонте привело к осушению V горизонта, а горные выработки VII горизонта приняли почти всю воду, которая раньше поступала на вышележащие горизонты. В 1961—1963 гг. от 80 до 90% воды принимали уже выработки IX горизонта.

При проходке рудного двора на XIII горизонте вблизи ствола шахты «Центральная» были подсечены сильно обводненные трещины, по которым вода с IX горизонта устремилась вниз. Водопритоки на XIII горизонте стали быстро возрастать, их удельный вес в суммарных рудничных водопритоках также стал увеличиваться.

В 1964 г. они составляли около 40%, а в 1965 г. уже свыше 60% всех рудничных водопритоков. В декабре 1966 г. водопритоки на XIII горизонте превышали 92% от всех вод, поступающих в рудник. Горные выработки IX горизонта оказались почти полностью осушенными. Вода в них стала поступать в основном лишь в весеннее время по межформационному срыву, соединяющему долину р. Баялдыр со стволами шахты Глубокой. В 1970 г. XIII горизонт принял 73% всех годовых рудничных водопритоков.

Таким образом, весь период отработки месторождения можно разделить на три этапа. Первый (1941—1953 гг.) характеризуется сравнительно небольшой обводненностью горных выработок. Среднегодовые притоки составляли 200—800 м³/ч. Во втором этапе (1953—1960 гг.) наблюдался непрерывный рост среднегодовых водопритоков в рудник. К концу этого этапа при углублении горных работ на 210 м притоки воды в среднем за год достигли 9500 м³/ч.

В третий этап, охватывающий шестидесятые годы и продолжающийся в настоящее время, сохраняется лишь тенденция к незначительному росту водопритоков, несмотря на развитие горных выработок до глубины 320 м*. Это объясняется тем, что к началу этого этапа горные выработки перехватили основной поток трещинно-карстовых вод в районе месторождения, включая фильтрационные потери на ближайших реках. Относительной стабилизации водопритоков в этот период способствует уменьшение с глубиной трещиноватости и водопроницаемости массива карбонатных пород.

Среднегодовые притоки в рудник, начиная с 1960 г., колебались в пределах 9000—12000 м³/ч. Их изменение зависело не столько от развития горных работ, сколько от условий питания водоносного горизонта, обводняющего выработки, т. е. от годовой суммы атмосферных осадков в районе. С этой точки зрения интересно сравнить между собой водопритоки до и после 1960 г. Так, среднегодовые водопритоки в рудник в многоводном 1958 г. составили 6820 м³/ч, а в следующем, более сухом, 1959 г.; в результате дальнейшего развития горных работ они возросли уже до 8640 м³/ч.

Иная картина наблюдалась после 1960 г. В многоводном 1964 г. рудничные водопритоки достигли своего максимального значения (более 12200 м³/ч в среднем за год). В последующие же 1965 и 1966 гг., несмотря на интенсивное развитие XIII горизонта и роста водопритоков на нем, суммарные рудничные водопритоки сократились, так как это были годы с малым количеством атмосферных осадков.

Зависимость среднегодовых величин водопритоков от годовой суммы атмосферных осадков для периода 1960—1969 гг. показана на рис. 20.

* В дальнейшем мы не будем касаться первого из указанных этапов отработки месторождения (1941—1953 гг.) и в соответствии с §2 гл. 2 будем называть 1-м этапом — 1954—1960 гг.; 2-м — все последующие годы.

Анализ величины водопритоков и их режима для отдельных пунктов водопроявлений показал, что все они могут быть разделены на несколько групп в зависимости от того, откуда к ним поступает вода.

Если водопроявление вызвано вскрытием изолированной карстовой полости больших размеров, то водопритоки в данной точке

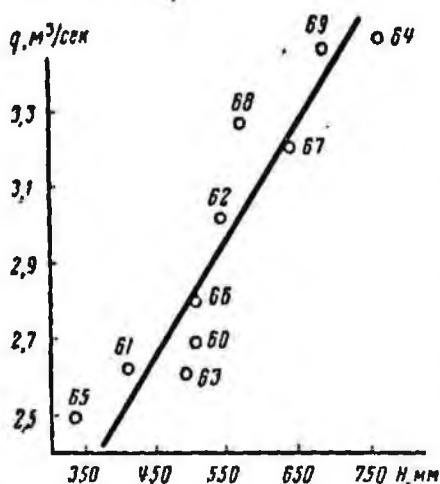


Рис. 20. График зависимости водопритоков в рудник от годовой суммы атмосферных осадков

с течением времени резко убывают и довольно быстро прекращаются совсем. Если водопроявление приурочено к зоне пород с мелкой и локальной трещиноватостью и лежит в стороне от тектонических нарушений, подводящих воду к месторождению, то водопритоки, как правило, незначительны и мало изменяются в течение года. Если пункты водопроявлений лежат вблизи основных тектонических нарушений (в зоне их оперения) или при пересечении их горными выработками, то режим водопритоков имеет хорошо выраженную годовую цикличность, обусловленную тем, что по тектоническим

трещинам осуществляется наиболее тесная связь между поверхностными водами и рудничными водопритоками. Такие участки характеризуются высокой водообильностью и осушаются только вследствие подсечения соответствующих трещин на нижележащем горизонте. Основное количество воды в руднике связано именно с этими водопроявлениями, примеры которых приводятся ниже. Так, при пересечении стволами шахты Глубокой межформационного срыва была установлена почти непосредственная связь между горными выработками и р. Баялдыр, которую межформационный срыв пересекает выше поста 37. Поэтому появление стока на этом участке реки в весеннее время незамедлительно вызывает резкое возрастание водопритоков в стволе шахты Глубокой (рис. 21).

Целая серия тектонических трещин связывает р. Баялдыр ниже поста 11 с блоком «Мухамед». Водопритоки этого блока имеют резко выраженный сезонный характер, что хорошо видно на рис. 22.

Количество воды, поступающей в горные выработки IX горизонта из зоны Южного надвига, также имеет четко выраженный годовой цикл (рис. 23).

На рис. 23 хорошо видно, что водопритоки на этом участке систематически убывали до тех пор, пока в 1966 г. не исчезли полностью. Причина этого заключается в дренирующем влиянии развизывающегося XIII горизонта.

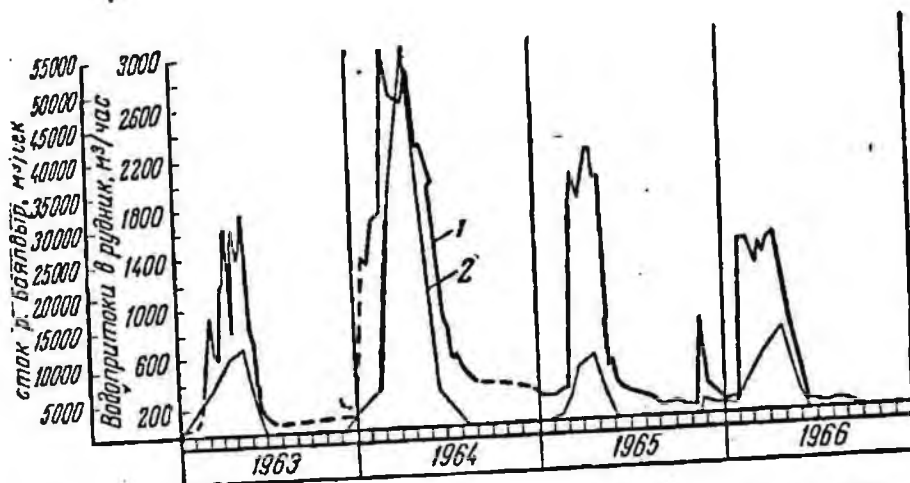


Рис. 21. Совмещенные хронологические графики ежедневных водопритоков в стволы шахты Глубокой и расходов воды р. Баялдыр (пост 11)
1 — сток; 2 — водопритоки

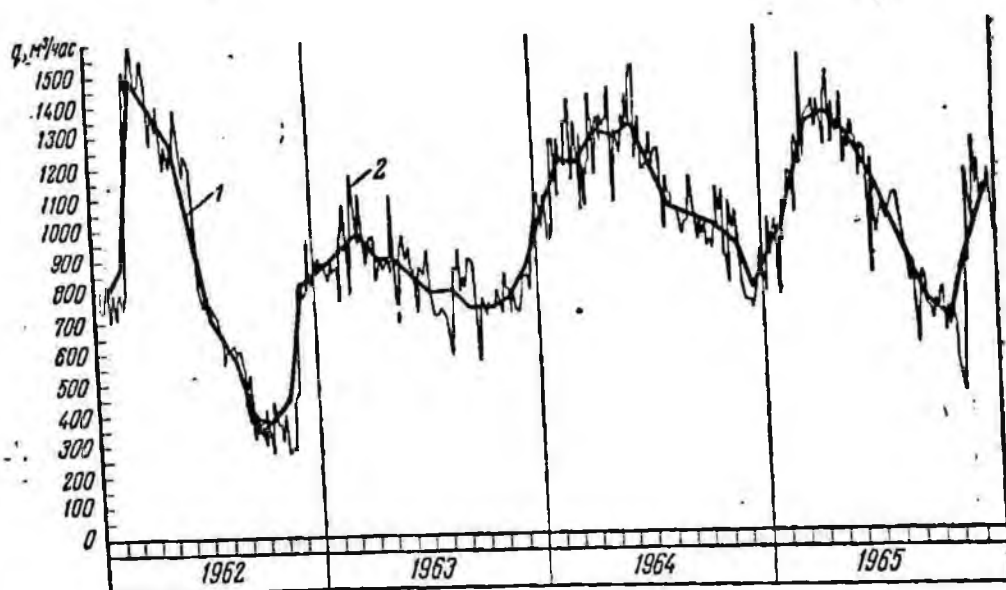


Рис. 22. Хронологический график ежедневных и среднемесячных водопритоков блока «Мухамед»
1 — среднемесячные водопритоки; 2 — ежедневные водопритоки

Поскольку основная вода поступает в рудник из обводненных тектонических зон и расходы ее изменяются по сезонам года, то суммарные рудничные водопритоки также характеризуются сезонным режимом и имеют четко выраженную годовую цикличность.

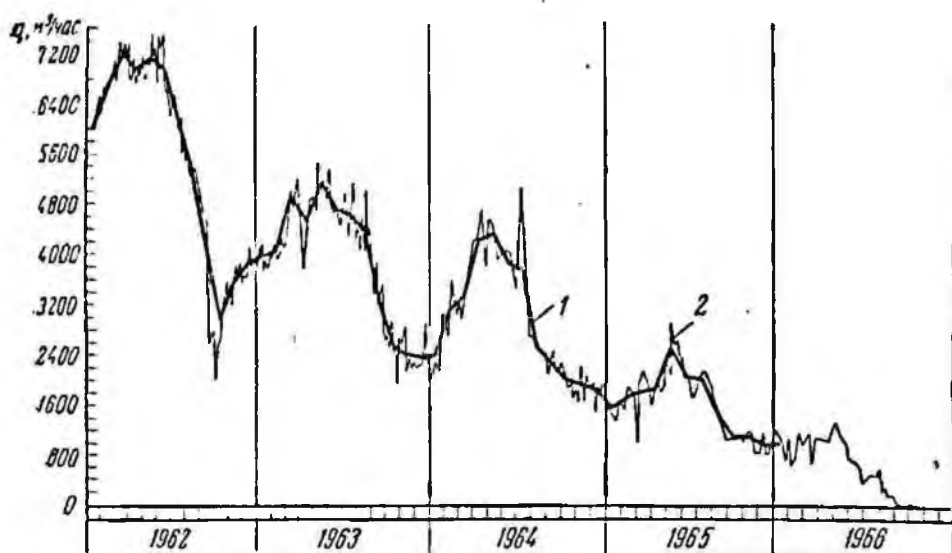


Рис. 23. Хронологический график ежедневных и среднемесячных водопри-
токов в квершлаг шахты Глубокой на IX горизонте из зоны Южного
надвига

1 — среднемесячные водопритоки; 2 — ежедневные водопритоки

(рис. 24), которая повторяет периодичность хода гидрометеороло-
гических элементов водного баланса, определяющих пополнение
запасов подземных вод в годовом разрезе.

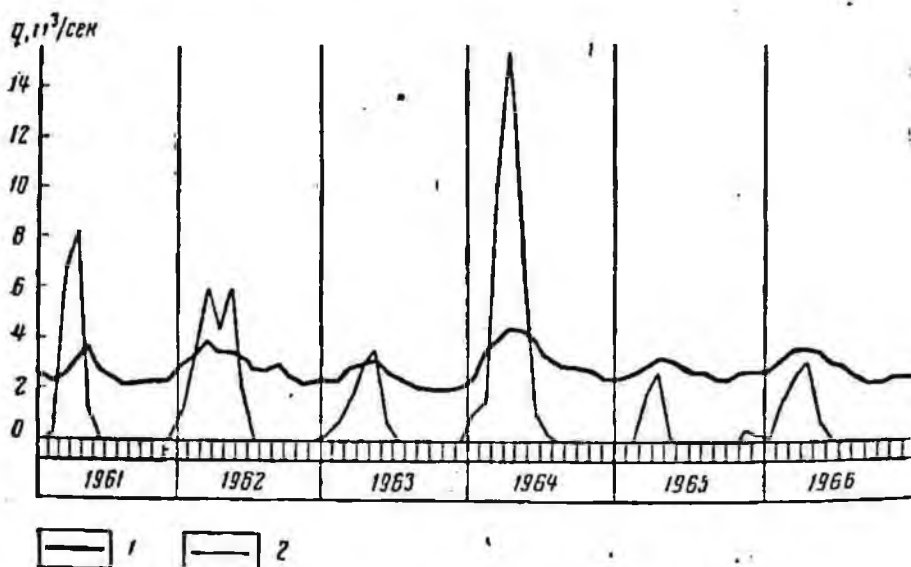


Рис. 24. Совмещенные хронологические графики среднемесячных водо-
притоков в рудник Миргалимсай (1) и расходов воды р. Баялдыр —
пост 11 (2)

ПРОГНОЗ МАКСИМАЛЬНЫХ ВОДОПРИТОКОВ В СИСТЕМУ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК МИРГАЛИМСАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Подсчет запасов подземных вод и водопритоков в систему горных выработок рудника Миргалимсай имеет большое значение для его строительства и эксплуатации.

В 1962 г. подсчет запасов подземных вод и водопритоков в горные выработки был выполнен П. А. Серым. Для подсчета запасов подземных вод П. А. Серый использовал разработанный им «метод разностей модулей поверхностного стока» [86], который основан на анализе модулей поверхностного стока с условно выделенных бассейнов, сложенных породами с различными фильтрационными свойствами (известняки и песчано-сланцевые отложения). Автор установил, что средние расходы потока подземных вод, протекающего через Миргалимсайское рудное поле, составляют $4,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ($15\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Подсчет водопритоков в горные выработки П. А. Серый выполнил графо-аналитическим методом с использованием зависимости между суммарным водозабором (средним, максимальным и минимальным) и средним понижением уровня подземных вод по нескольким наблюдательным скважинам, расположенным в центре депрессионной воронки (рис. 25). Экстраполируя полученные кривые, П. А. Серый определил, что при дальнейшем развитии горных работ минимальные притоки воды в рудник составят $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ($9\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$), максимальные $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ($18\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$), а среднегодовые — $3,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ($12\,600 \text{ м}^3/\text{ч}$).

К недостаткам этого метода следует отнести то, что кривые экстраполировались на весьма большую величину (400%), а также и то, что при прогнозе экстремальных водопритоков по осредненным кривым $q_{\text{макс.}} = f(S)$ и $q_{\text{мин.}} = f(S)$ не учитывались отклонения водопритоков от этих кривых в зависимости от водности года.

В 1966—1970 гг. в институте ВСЕГИНГЕО Г. Н. Кашковским было проведено изучение процесса формирования водопритоков на Миргалимсайском месторождении и дан прогноз развития депрессионной воронки при средних водопритоках в рудник, для чего было применено аналоговое моделирование на сетчатых моделях. Г. Н. Кашковский использовал в своей работе материалы многолетних наблюдений за режимом подземных вод в районе месторождения и притокам воды в горные выработки. При моделировании им были учтены особенности геологического строения района, его тектоника, изменение водопроницаемости пород с глубиной и проектируемое развитие горных работ. В результате проведенных исследований автор получил прогнозные средние значения водопритоков для периодов 1969—1972 гг. и 1973—1976 гг. Если предположить, что в первый из этих периодов наиболее глубоким горизон-

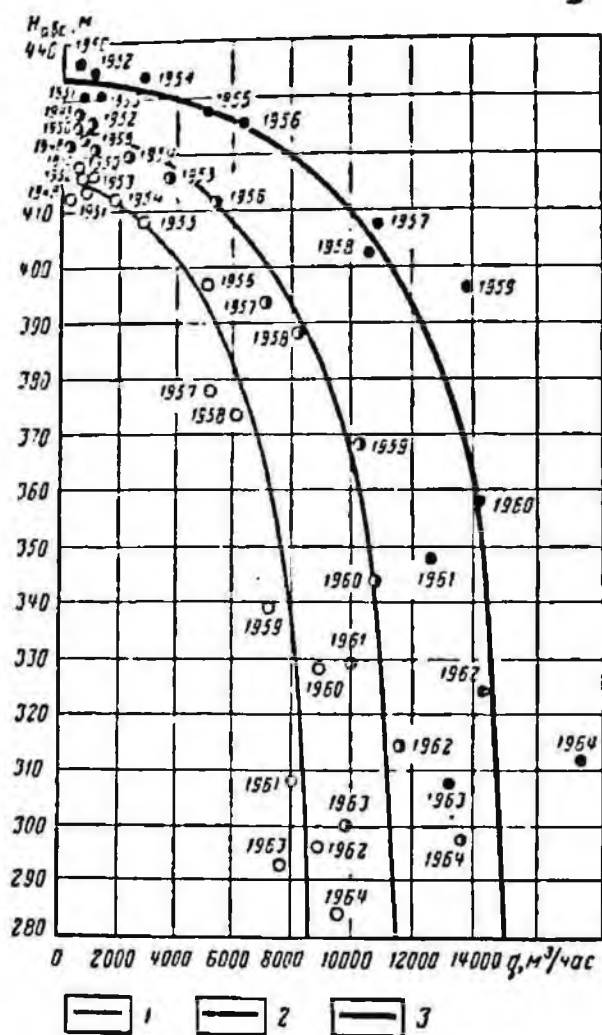


Рис. 25. График зависимости между минимальными среднемесячными (1), среднегодовыми (2) и максимальными среднемесячными (3) величинами водопритоков в рудник

том, вскрывающим основные водоносные зоны, будет XVI, то средние притоки воды составят 12 000 м³/ч.

В последующие периоды при развитии горных работ на XIX горизонте водопритоки возрастут в среднем до 13 100 м³/ч (1973—1976 гг.).

До 1953 г. горные выработки проходились почти полностью в сухих условиях и суммарные рудничные водопритоки лишь в 1953 г. достигли 800 м³/ч. Депрессионная воронка в этот период почти не развивалась. Поэтому прогноз водопритоков выполнен нами на основании анализа фактических расходов воды, поступившей в рудник после 1953 г.

По среднегодовым водопритокам за период 1954—1968 гг. по полиному четвертого по-

рядка была рассчитана детерминированная функция (тренд). Далее с 1969 по 1970 г. она определялась Г. Н. Кашковским при помощи аналогового моделирования на машине УСМ-1 (рис. 26). Поскольку методика расчета тренда освещена во многих работах, мы укажем лишь на результаты этих расчетов.

Как отмечалось выше, детерминированная функция характеризует изменение среднегодовых притоков воды в зависимости от гидрогеологических особенностей района и интенсивности отработки месторождения при условии, что в течение всего рассматриваемого периода питание водоносного горизонта, обводняющего гор-

ные выработки, соответствует среднемноголетней величине, т. е. что все исследуемые годы имеют среднюю водность.

На полученной для Миргалимсайского месторождения детерминированной кривой четко выделяются два периода.

С 1954 по 1960 г. тренд стремительно возрастает, что соответствует первому периоду отработки месторождения, когда происходит

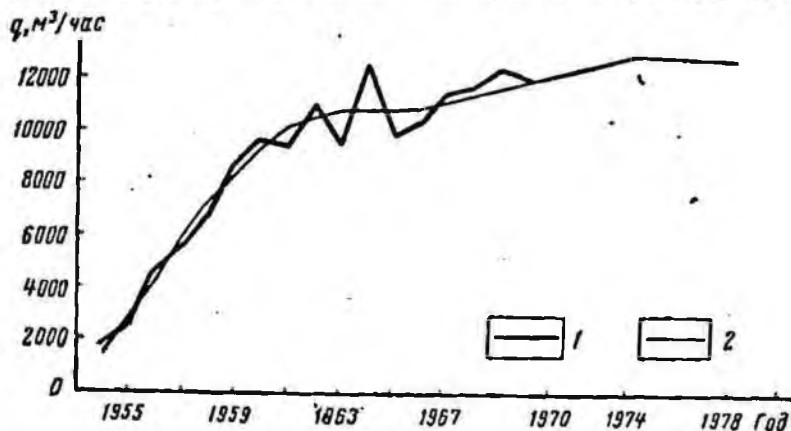


Рис. 26. Водопритоки в рудники (1) и величины их закономерностей составляющей тренда (2)

основное формирование депрессионной воронки и вскрытие потока подземных вод, обводняющего горные выработки. Крутизна подъема тренда определяется интенсивностью развития горных работ. Изменения среднегодовых водопритоков под влиянием водности отдельных лет в эти годы не выражены.

После 1960 г. наступает второй период отработки месторождения, характеризуемый относительной стабилизацией водопритоков, когда тренд значительно выполаживается. Величины, которых он достигает в этот период, в значительной степени ограничиваются ресурсами трещинно-карстовых вод района. При этом в годы, когда основным дренирующим горизонтом был XIII, среднегодовые водопритоки составляли около 11 000 м³/ч. Как показало моделирование, приведенное Г. Н. Кашковским на УСМ-1, ожидается, что при переходе на XVI горизонт водопритоки составят 12 000 м³/ч, а при развитии XIX горизонта они достигнут 13 000 м³/ч. Учитывая, что водопроницаемость горных пород с глубиной значительно убывает, можно предположить, что с переходом на нижележащие добычные горизонты возрастания не наблюдается. Этот вывод подтверждается данными табл. 9.

Во второй период выражены отклонения фактических среднегодовых водопритоков от тренда в зависимости от водности отдельных лет. Эти отклонения можно рассматривать, как случайные компоненты, определяемые гидрометеорологическими факторами.

Анализ изменения тренда и случайных отклонений от него по-

казывает, что максимальные величины водопритоков на весь период отработки месторождения могут быть обусловлены чрезвычайно высокой водностью года и наблюдаться в тот период, когда многоводные годы расчетной обеспеченности совпадут с наибольшими значениями тренда. Поэтому максимальные среднегодовые водо-

Таблица 9

Изменение понижения уровня и водопритоков

Год	Продолжительность периода в годах	Понижение в центре депрессионной воронки от статического уровня, м	Возрастание водопритоков за период, м ³ /ч		Величина возрастания водопритоков, м ³ /ч
			от	до	
1954—1960	7	76	800	9500	≈9000
1961—1970	10	134	9500	12000	2500

притоки можно получить, как сумму наибольшего значения тренда, определенного моделированием в размере 13 000 м³/ч, и случайной составляющей обеспеченностью 5⁰/₀ или 1⁰/₀.

Для расчета случайной компоненты заданной обеспеченности прежде всего были определены ее значения по фактическим дан-

Таблица 10

Определение случайной компоненты заданной обеспеченности по фактическим данным за 1960—1970 гг.

Год	Водопритоки, м ³ /ч			Русловая инфильтрация из рек, м ³ /с
	фактические, q_{ϕ}	тренд, q_p	$\Delta q = q_{\phi} - q_p$	
1960	9650	9350	+300	0,91
1961	9470	10050	—580	0,78
1962	10950	10490	+460	1,07
1963	9400	10700	—1300	0,50
1964	12530	10770	+1760	1,92
1965	8980*	10780	—1800	0,56
1966	10060*	10890	—830	0,64
1967	11490	11270	+220	1,16**
1968	11730	11500	+230	1,02**
1969	12420	11750	+670	1,38**
1970	12020	12000	+20	0,96**

* Водопритоки даны за вычетом той части, которая формируется за счет запасов подземных вод, накопленных в предыдущие многоводные годы.

** Русловая инфильтрация из рек в пределах влияния рудничного водоотлива рассчитана на основании данных, полученных Институтом ГГИ.

ным за 1960—1970 гг. (табл. 10). Этот период является достаточно репрезентативным, так как он включает многоводный 1964 г. и маловодный 1963 г., близкие по водности, соответственно к 5⁰/₀ и 95⁰/₀, обеспеченности.

Далее для получения величин случайной составляющей водопритоков обеспеченностью 5% и 1% были построены графики связи между ними и одним из гидрометеорологических факторов с более длинным рядом наблюдений.

При выборе фактора, который наиболее целесообразно использовать для построения такой связи, учитывались особенности питания водоносного горизонта, обводняющего горные выработки, обусловленные тем, что на реках, протекающих вблизи месторождения, происходит интенсивная инфильтрация русловых вод в закарстованные и тектонически нарушенные карбонатные породы.

Учитывая большую роль русловой инфильтрации в формировании максимальных водопритоков и периодичность стока рек исследуемого района, мы использовали для прогноза водопритоков суммарные потери речных вод на инфильтрацию в пределах депрессионной воронки и строили графики связи между ними и фактическими значениями случайной компоненты (рис. 27). Таким образом, прогноз максимальных водопритоков на Миргалимсайском

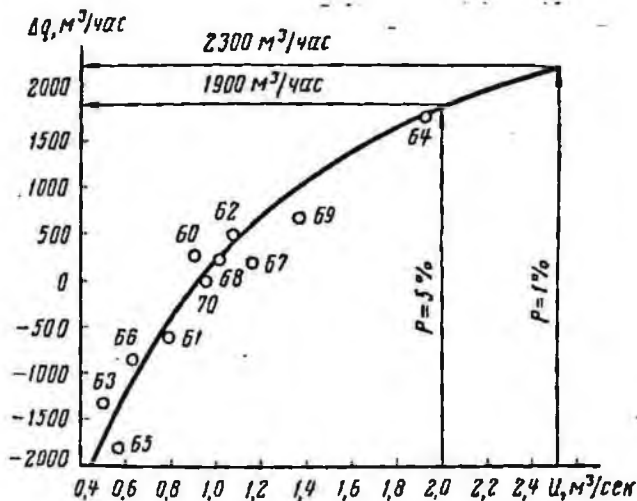


Рис. 27. График зависимости случайных составляющих водопритоков от суммарной русловой инфильтрации в зоне влияния рудничного водоотлива

месторождении выполнен по расчетной схеме $A_2б$ (см. табл. 2, гл. 4). В соответствии со значениями инфильтрационных речных потерь заданной обеспеченности, полученных в § 2 главы 7, по указанному графику были определены случайные составляющие обеспеченностью 1% и 5%, которые оказались равны 2300 м³/ч и 1900 м³/ч. Поскольку наибольшее ожидаемое значение тренда равно 13 000 м³/ч, максимальные среднегодовые водопритоки обеспеченностью 1% и 5% составят соответственно 15 300 м³/ч и 14 900 м³/ч.

Максимальные среднемесячные водопритоки определялись двумя способами: по графику связи между ними и среднегодовыми водопритоками того же года (рис. 28), а также по коэффициенту сезонной неравномерности водопритоков.

Максимальные среднемесячные водопритоки, полученные по графику связи со среднегодовыми, равны 19 900 м³/ч при обеспеченности 1% и 19 400 м³/ч при обеспеченности 5%.

Расчет по коэффициенту сезонной неравномерности производился следующим образом. Для каждого года за период 1960—1970 гг.

определялся коэффициент сезонной неравномерности K_c , как отношение максимальных среднемесячных расходов к среднегодовым. Далее ряд полученных коэффициентов подвергался статистической обработке, в результате которой была получена кривая обеспеченности K_c . Параметры этой кривой: среднее значение K_c равно 1,26, коэффициент вариации C_v составляет 0,05. При $C_s = 2C_v$ значения K_c обеспеченностью 1% и 5% соответственно равны 1,40 и 1,35.

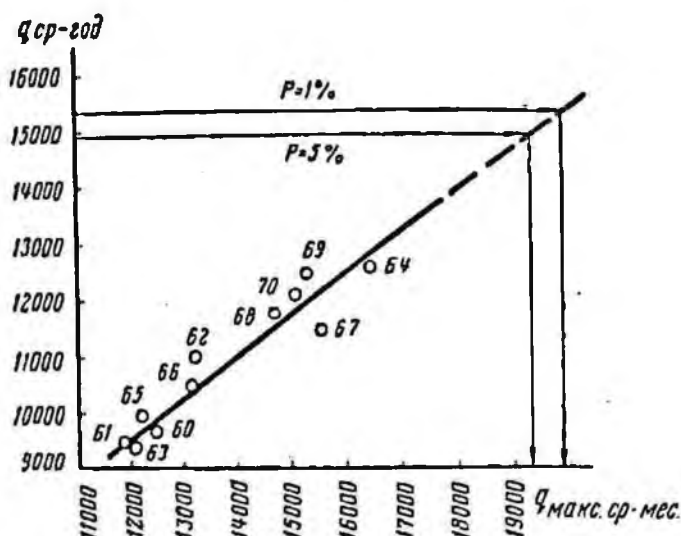


Рис. 28. График связи максимальных среднемесячных и среднегодовых водопритоков в рудник Миргалимсай

Для определения максимальных среднемесячных водопритоков величины среднегодовых водопритоков обеспеченностью 1% и 5% умножались на соответствующий коэффициент сезонной неравномерности. В результате этого мы получили, что при обеспеченности 1% максимальные среднемесячные водопритоки в горные выработки Миргалимсайского месторождения могут составить 21 400 м³/ч, а при обеспеченности 5% — 20 100 м³/ч. Эти величины отличаются от тех, которые получены по графику связи на 2,5—7%. Это обусловлено небольшой величиной C_v ; вследствие чего среднее и максимальное его значения различаются весьма незначительно (первый способ соответствует расчету со средним из наблюдаемых K_c).

Для перехода от среднемесячных к среднесуточным максимальным водопритокам воспользуемся соотношением таковых, наблюдаемых с 1960 г. Поскольку наша задача заключается в получении максимальных водопритоков в рудник, примем для расчета наибольшее из полученных соотношений, равное $K_{с сут} = 1,125$, которое имело место в 1964 г. Тогда среднесуточные максимальные водопритоки на Миргалимсайском месторождении составят 24 000 м³/ч при обеспеченности 1% и 22 600 м³/ч при обеспеченности 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги рассмотрению вопроса о прогнозировании максимальных водопритоков в систему горных выработок с использованием методов теории вероятностей и математической статистики, следует подчеркнуть следующее.

1. Применение указанных методов позволяет: а) прогнозировать водопритоки на месторождениях, характеризующихся наиболее сложными гидрогеологическими условиями, отличающимися большой обводненностью и значительной сезонной неравномерностью водопритоков, на которых другие методы расчета не могут дать положительных результатов; б) выразить прогнозируемые водопритоки в величинах заданной обеспеченности; в) учесть влияние на изменение водопритоков сезонных и многолетних колебаний питания водоносного горизонта, обводняющего горные выработки.

2. Возможности прогнозирования водопритоков в горные выработки для сложных природных условий могут быть значительно расширены при совместном применении методов математической статистики и моделирования на аналоговых электрических машинах. С применением моделирования на сеточных моделях типа УСМ-1 может быть выполнено исследование водопроводимости неоднородных по своим фильтрационным свойствам водовмещающих пород и распределения основных потоков подземных вод в районе месторождения, а также дан прогноз средних водопритоков при дальнейшем развитии горных работ.

С помощью статистических методов учитывается неравномерность во времени условий питания подземных вод, что позволяет кроме средних определить также максимальные водопритоки в многоводные годы.

Совместное использование обоих методов представляет возможность выполнить прогноз средних и максимальных рудничных водопритоков при наиболее полном учете природных особенностей месторождения.

3. Те же принципы могут быть использованы при оценке запасов подземных вод в случаях, когда минимальные дебиты водозаборов обусловлены уменьшением питания водоносных горизонтов в маловодные годы. Это имело бы большое значение для водозаборов, эксплуатирующих грунтовые воды, наиболее тесно связан-

ные с поверхностными водами и атмосферными осадками и прежде всего в тех случаях, когда восполнение запасов подземных вод происходит главным образом за счет инфильтрации из рек. Эти же принципы могут быть использованы при прогнозе режима подземных вод в ненарушенных условиях.

4. Некоторые проблемы, касающиеся применения вероятностно-статистических методов для прогноза водопритоков в горные выработки, требуют в дальнейшем детальной разработки. При этом особое внимание должно быть обращено на вопросы, связанные с более широким учетом природных условий месторождений при выборе тех или иных методов расчета с помощью теории вероятностей и математической статистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике. Изд-во ЛГУ, 1963.
2. Альтовский М. Е. Методическое руководство по изучению режима подземных вод. Гостеолтехиздат, 1954.
3. Геологическое строение Северо-Уральских бокситовых месторождений и гидрогеологические условия их освоения. Авт.: Атаев А. Я., Миловидов Е. Д., Завьялов П. К., Соколов Н. Ф., Плотников И. И. — «Горный журнал», 1959, № 12.
4. Бабушкин В. Д., Леви Л. З. О прогнозах экстремальных притоков воды к горным выработкам и водозаборах подземных вод с применением вероятностно-статистического метода. — «Сов. геол.», 1972, № 6.
5. Бабушкин В. Д., Прохоров С. П. Оценка общего притока в шахты угольных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1962, № 9.
6. Бабушкин В. Д., Прохоров С. П., Лосев Ф. И. Методы оценки общего притока воды в шахты угольных месторождений. М., «Недра», 1964.
7. Бабушкин В. Д., Пересунько Д. И., Прохоров С. Д. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых (методическое руководство). М., «Недра», 1969.
8. Балков В. А. Влияние карста на водный баланс и сток. Уч. зап. ПГУ, № 112, Гидрология, 1964.
9. Балков В. А. Влияние карста на минимальный сток. — Сб. «Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета». Изд-во МГУ, 1967.
10. Биндеман Н. Н. Влияние метеорологических факторов на режим подземных вод. (Режим подземных вод. ГОНТИ). М.-Л., 1938.
11. Богомоллов Ю. С., Плетнев А. А. Программа получения весовых функций линейной системы — Сб. «Применение математических методов при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях». ВСЕГИНГЕО, М., 1968.
12. Бойчук В. В., Марченко А. С. Фон и вариации элементов физико-географической среды. «Наука», 1968.
13. Бронгулеев В. В. Строение среднепалеозойского структурного этажа Центрального Каратау. Гостоптехиздат, 1961.
14. Будыко М. И. О климатических факторах стока. — «Проблемы физической географии», т. XVI, 1951. Изд. АН СССР.
15. Быдин В. И. Трансформирование атмосферных осадков в уровне Каспийского моря. Изв. ВГО, т. 78, вып. 3, 1946.
16. Великанов М. А. Водный баланс суши. Гидрометеониздат, Л., 1940.
17. Великанов М. А. Гидрология суши. Гидрометеониздат, 1948.
18. Великанов М. А. Композиционный метод нахождения кривой распределения вероятностей для паводковых расходов снегового половодья. — Метеорология и гидрология, 1949, № 3.
19. Великанов М. А. Гидрология суши. Гидрометеониздат, 1964.

20. Вентцель Е. В. Теория вероятностей. Физматгиз, 1964.
21. Вистелиус А. Б. К геологии нижнеказанских отложений Бугурусланского нефтеносного района. (Исследование в области аналитической геологии). «Сов. геол.», 1948, № 28.
22. Вистелиус А. Б. О палеогеографическом значении связи между мощностями слоев. — Сб. ВНИГРИ, 1950, № 3.
23. Вистелиус А. Б. Проблемы математической геологии. — «Геология и геофизика», 1963, № 7.
24. Вистелиус А. Б. Теоретические предпосылки стохастических моделей и их проверка в конкретных геологических условиях. — Сб. «Математические методы в геологии», «Наука», 1968.
25. Вольфцун И. Б. Расчеты элементов баланса грунтовых вод на основе гидрометеорологической информации. Гидрометеониздат, 1972.
26. Газизов М. С. К вопросу об осушении шахт Эстонского месторождения горючих сланцев. — Тр. Научн. техн. конф. по осушению обводненных угольных месторождений. Госгортехиздат, 1959.
27. Газизов М. С. Карстовые явления на Эстонском месторождении горючих сланцев и методика их изучения. — Сб. «Специальные вопросы карстоведения». Изд-во АН СССР, 1962.
28. Галицкий В. В. Тектоника хр. Каратау. — Сб. «Тектоника и динамометаморфизм палеозоя Казахстана». Изд-во «Наука», 1967.
29. Гатальский М. А. Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы. Тр. ВНИГРИ, вып. 95, М., 1956.
30. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. Физматгиз, 1961.
31. Длин А. М. Математическая статистика в технике. Изд-во «Сов. наука», 1958.
32. Ежов Ю. А., Сидоров И. Н. Определение притоков воды и меры их снижения в шахтах Кизеловского бассейна. — Тр. Ин-та геологии УФАН, вып. 69, 1964.
33. Зальцберг Э. А. О результатах множественной корреляции максимальных весенних и осенних уровней грунтовых вод. — Тематич. сб. ВСЕГИНГЕО, М., 1970.
34. Еремин М. А. Установление связи между среднегодовым поверхностным и шахтным стоком. — Изв. вузов, ГЖ, 1966, № 12.
35. Еремин М. А. Метод определения вероятностных величин среднегодового стока по связи с поверхностным. — Изв. вузов, ГЖ, 1967, № 1.
36. Жеваго В. С. Гидрогеологические условия рудника Миргалмсай. — Изв. АН Кзх. ССР. Сер. геол., вып. 2/27, 1957.
37. Калинин Г. П. К обоснованию применения кривых распределения стока «Метеорология и гидрология», 1962, № 4.
38. Каменский Г. Н. Гидродинамические принципы исследования режима водопритока в горных выработках. — «Сов. геол.», 1948, № 35.
39. Каменский Г. Н., Климентов П. П., Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Госгеоиздат, 1953.
40. Картвелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока. Гидрометеониздат, 1967.
41. Кашковский Г. Н. Особенности гидрогеологических условий эксплуатации и исследований на Миргалмсайском месторождении. — Тр. ВСЕГИНГЕО, вып. 18, 1969.
42. Кашковский Г. Н., Бабушкин В. Д., Леви Л. З. Прогноз среднего и максимального водопритоков в горные выработки Миргалмсайского месторождения с применением моделирования и статистических методов. (Экспресс-информация.) «Серия гидрогеол. и инж.-геол.», № 20, ВИЭМС, 1970.
43. Кашковский Г. Н., Леви Л. З. Прогнозирование водопритоков в горные выработки в карстовом районе (на примере Миргалмсайского месторождения). — «Тез. докл. на Всес. совещ. гидрогеологов горнодобывающих предприятий». ВНОГЕМ, 1968.
44. Кацнельсон П. Н., Никольская Н. М. Новый подход к определению возможности выемки угля под водотоками и водоемами. — Сб. ВНИИИ, 1959, № 36.

45. Кельманский М. С. Гидрогеология угольных копей Кизеловского карстового района на Урале и условия производства горных работ под водонесными карстами. — «Уголь», 1938, № 11.
46. Кенесарин Н. А. Гидрогеологический прогноз земных проявлений спокойного солнца. — «Узб. геол. журнал», 1963, № 2.
47. Климентов П. П. Анализ влияния рельефа месторождения на величину водопритоков к горным выработкам. — «Разведка и охрана недр», 1956, № 1.
48. Климентов П. П., Овчинников А. М. Гидрогеология месторождений твердых полезных ископаемых. Ч. I и II. М., «Недра», 1966.
49. Кнерцер В. Г. К вопросу о зависимости притока воды в горные выработки от площади глубины и времени эксплуатации. — «Тр. Всесоюзн. совещ. по освоению м-ний полезных ископаемых, залегающих в сложных гидрогеол. и инж.-геол. условиях». М., «Недра», 1964.
50. Кнерцер В. Г. Применение математической статистики для прогнозирования притоков воды в шахты. — «Разведка и охрана недр», 1967, № 9.
51. Ковалевский В. С. Изучение режима подземных вод. — В кн. «Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения». М., «Недра», 1969.
52. Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации». В кн. «Проблемы передачи информации». Т. I. 1965, вып. 1. Изд-во АН СССР.
53. Коноплянцев А. А. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод (методич. указания). ВСЕГИНГЕО, М., 1967.
54. Коноплянцев А. А. Прогноз режима подземных вод методом аналогии. «Разведка и охрана недр», 1968, № 2.
55. Копотиллов Ю. П. Особенности режима карстовых вод Кизеловского района в связи с шахтным водоотливом. (Тезисы докл. на совещ. по изуч. карста.) Изд-во АН СССР, 1956, № 7.
56. Коробейников В. А. Ритмичность в многолетних колебаниях уровня грунтовых вод. — Тр. ВСЕГИНГЕО М., 1964, № 10.
57. Крестовский О. П. Грунтовое питание малых водотоков в период весеннего половодья. — Тр. ГГИ, 1960, вып. 81, Л., Гидрометеоздат.
58. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. О приемах исследования случайных колебаний речного стока. — Тр. ГГИ, сер. IV, 1946, вып. 29, Л., Гидрометеоздат.
59. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. О соответствии теоретических кривых распределения вероятностей данным наблюдений по речному стоку. — В кн. «Проблемы регулирования речного стока». Изд-во АН СССР, 1948, вып. 3.
60. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Водохозяйственные расчеты. Л., Гидрометеоздат, 1952.
61. Лебедев А. В. Опыт статистической обработки результатов многолетнего наблюдения за режимом грунтовых вод. — Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1964, № 10.
62. Леви Л. З. О методике прогнозирования максимальных водопритоков в рудник в трещинно-карстовом районе. — Тр. ВСЕГИНГЕО, 1969, М., вып. 18.
63. Леви Л. З. К вопросу об инфильтрации русловых вод в трещинно-карстовых районах. — Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1969, вып. 18.
64. Леви Л. З. Прогноз максимальных водопритоков в рудник в трещинно-карстовых породах с применением гидролого-статист. методов на примере Миргалимсай. м-ния. (Информ. сообщ. № 12, сер. инж.-геол. и гидрогеол.) ОНТИ ВИЭМС, 1969.
65. Леви Л. З. Краткосрочный прогноз водопритоков в систему горных выработок, Миргалимсайского м-ния и его оценка. — Тр. конф. молод. спец. ВСЕГИНГЕО, М., 1970.
66. Максимович Г. А. Гидродинамические зоны карстовых вод и основные типы подземного стока. — В кн. «Специальные вопросы карстоведения». Изд-во АН СССР, 1962.

67. Малеваный Г. Г. Причины, обуславливающие изменение притока воды в горные выработки. — Тр. Харьков. горн. ин-та, 1962, № 12.
68. Малеваный Г. Г. О закономерностях распределения подземных вод в трещиноватых породах. — Тр. Харьков. горн. ин-та, 1962, т. XII.
69. Миллер Р. и Кан Дж. Статистический анализ в геологических науках. М., «Мир», 1965.
70. Молитвин П. В. Изучение особенностей водного режима закарстованных рек. — «Изв. АН СССР, Сер. геогр.», 1960, № 6.
71. Молитвин П. В. Гидрогеологические исследования в условиях карста. «Изв. ВГО», 1962, т. 94, № 2.
72. Огильви Н. А., Плетнев А. А. О математической модели режима грунтовых вод. — В кн. «Применение матем. методов при гидрогеол. и инж.-геол. исслед.» Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1968.
73. Опыт водопонижения на месторождениях полезных ископаемых со сложными гидрогеологическими условиями. Под ред. Л. Д. Шевякова и Г. И. Маньковского. М., Изд-во АН СССР, 1963.
74. Паукер Н. Г. Гидрохимический метод в шахтной гидрогеологии на примере Ленинградского сланцевого месторождения. Записки Ленинградского горного института, т. XLVIII, вып. 2. «Недра», 1965.
75. Печеркин И. А. Шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна. — Гидрогеол. сб. УФАН, 1960, № 1.
76. Печеркин И. А. Притоки карстовых вод в горные выработки Кизеловского каменноугольного бассейна. — В кн. Специальные вопросы карстования. Изд-во АН СССР, 1962.
77. Пересунько Д. И. Изучение режима шахтных (рудничных) и подземных вод на месторождениях твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1968.
78. Плетнев А. А. Нахождение весовых функций линейной системы по записям входной и выходной величины (случай различной «памяти» по каждому из выходов). — В кн. «Применение математич. методов при гидрогеол. и инж.-геол. исследованиях». Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1970, вып. 34.
79. Плотников Н. А. Классификация ресурсов подземных вод для целей водоснабжения и методы их подсчета. М.—Л., Госгеолиздат, 1946.
80. Плотников Н. П., Сыроватко М. В., Щеголев Д. И. Подземные воды рудных месторождений. М., Металлургиздат, 1957.
81. Попов Л. Н., Баранов В. А. Определение запасов подземных карстовых вод гидрогеологическими расчетами. Тр. ВОДГЕО. (Информ. материал.) 1952, № 2.
82. Прохоров С. П. К вопросу оценки обводненности месторождений полезных ископаемых по методу аналогий. — Тр. ВСЕГИНГЕО, М., Госгеолтехиздат, 1959.
83. Прохоров С. П., Качугия Е. Г. Методическое руководство по гидрогеол. и инж.-геол. исслед. при разведке м-ний твердых полезн. ископ. М., Госгеолтехиздат, 1955.
84. Пузырева А. А. Климатический очерк Южно-Казахстанской обл. — В кн. «Вопросы географии Казахстана», вып. 6. Изд. Акад. наук Казах. СССР», 1960.
85. Сванидзе Г. Г. Методика стохастического моделирования гидрогеологических рядов и некоторые вопросы многолетнего регулирования речного стока. — Тр. Ин-та энергетики АН СССР, 1961, т. XIV.
86. Серый П. А. Методы определения запасов трещинно-карстовых вод и водопритоков в горные выработки. — «Горный журнал», 1962, № 8.
87. Серый П. А. Некоторые особенности гидрогеологических условий Маргалимская. Производительные силы Южного Казахстана. Т. 4. Алма-Ата, Изд. Акад. наук Казах. СССР. 1966.
88. Сидоркина С. П. О долгосрочном прогнозе гидрогеологических процессов методами теории стационарных случайных функций. — В кн. «Применение математич. методов при гидрогеол. и инж.-геол. исследованиях». Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1970, вып. 34.

89. Скиргелло О. Б. К вопросу о методике определения запасов карстовых вод. — «Сов. геол.», 1947, № 25.
90. Скиргелло О. Б., Полянина М. А. Прогноз притоков в шахты в карстовых районах. — «Разведка и охрана недр», 1959, № 9.
91. Смирнов Л. Н. Гидрогеология Североуральского бокситового бассейна. «Горный журнал», № 2.
92. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.
93. Соколовский Д. Л. Применение кривых распределения к установлению вероятных колебаний годового стока рек Европейской части СССР. — В кн. «Материалы по гидрологии, гидрографии и водным силам СССР». Вып. III, М.—Л., Гостехиздат, 1930.
94. Срезневский Б. И. Решение вопроса о корреляции двух переменных методов равных повторяемостей. — «Метеорол. вестник», 1924, № 3.
95. Срезневский Б. И. Мои тезисы (Единое решение корреляции и метод равных повторяемостей). Зап. Моск. метеорол. об-ва, 1928, вып. 3.
96. Сунцов М. А. К вопросу прогноза водопритоков в горные выработки на примере карстового района Северного Урала. — Тр. Лабор. гидрогеол. проблем АН СССР, М., 1958, т. XVI.
97. Сунцов М. А. Вопросы гидрогеологии в связи с осушением горных выработок на Северо-Уральских бокситовых рудниках. — Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, АН СССР, М., 1958, т. XX.
98. Сыроватко М. В. Методика расчета притоков подземных вод к горным выработкам. Изд. УзФАН, Ташкент, 1950.
99. Сыроватко М. В. О классификации пластовых месторождений полезных ископаемых по степени водообильности. Тр. Ин-та геологии АН УзССР, 1950, вып. 1, Ташкент, Изд. УзФАН.
100. Сыроватко М. В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений. М., Госгортехиздат, 1960.
101. Токарев Н. С. Ритмические колебания климата и их влияние на режим поверхностных и подземных вод. — Тр. Лабор. гидрогеол. проблем, АН СССР, М., 1950, т. IX.
102. Троянский С. В. Классификация месторождений полезных ископаемых по условиям обводненности. «Сов. геол.», 1947, № 19.
103. Троянский С. В., Белицкий А. С., Чекин А. И. Общая и горнорудничная гидрогеология. М., Госгортехиздат, 1960.
104. Унковская Н. Ф. Управление режимом подземных вод и методы расчета дренажных систем в условиях карстового района. «Горный журнал», 1960, № 8.
105. Чернышев С. Н., Аронова Л. А. Статистическое исследование водопроницаемости трещиноватых массивов. — В кн. «Математ. методы в геологии». М., «Наука», 1968.
106. Чупров А. А. Основные проблемы теории корреляции. М., Госстатиздат, 1960.
107. Шалагинов Н. Ф. Определение условий безопасности выемки угля под водоемами (по результатам обобщения опыта подработки водоемов в Советском Союзе). Сб. статей по вопросам исследован. горного давления и сдвиж. горных пород, № 36, Л., ВНИМИ, 1959.
108. Шипачев В. П. Определение притоков воды в горные выработки угольных шахт Ленинского месторождения Кузнецкого бассейна. Изв. высших учеб. завед. — «Геология и разведка», 1960, № 5.
109. Шнейдер Ю. Л., Сидоренко П. П. Геологическое строение и горнотехническая характеристика Миргалимсайского месторождения — «Горный журнал», 1962, № 4.
110. Шпитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков северного «полушария». — Зап. геогр. об-ва, нов. сер., 1957, т. 16.
111. Шулъманович Г. Я., Кнерцер В. Г. Зависимость притока воды в горные выработки от площади, глубины и времени эксплуатации. — Тр. ВСЕГИНГЕО, М., 1964, № 10.
112. Щеголев Д. И. Рудничные воды. М., Углетехиздат, 1948.

113. Gissler A. Zusammenhänge zwischen Uferfiltration und Grundwasserbildung — "Wiss. Z. Univ. Leipzig. Math-naturwiss. Reihe", 1955—1956, No. 4.
114. Ferris I. G. Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility. Internat. Union Geodesy and Geophysics, Assoc. Sci. Hydrology Assembly, Brussels, 1951, vol. 2.
115. Fürst H., Müller P. H., Nollau V. Über ein stochastisches verfahren zur Bestimmung des Maximums einer Funktion mit experimentell ermittelbaren Funktionswerten und seine Anwendung bei chemischen Prozessen. — "Wiss. Z. Fechn. Univ. Dresden", 1967, Bd. 16, No. 1.
116. Maasland M. Water table fluctuations induced by intermittent recharge. — "J. Geophys. Res.", 1959, vol. 64, No. 5.
117. Klir J. Die Beobachtung von Wassermenge und geschwindigkeit beim Versickern von Oberflächenwässer in Grubenbauen. — "Leitschrift für angewandte Geologie", 1961, No. 1.
118. Maurin V., Löte I. Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse "Steir. Beitz. Hydrogeologie, 1959, No. 1—2.
119. Remson I., Randolph I. K. Application of statistical Methods to the Analysis of Grund-Water Levels. — "Trans. Amer. Geophys. Union, 1958, vol. 39, No. 1.
120. Rsumovic R. Indice de karstification des cours d'eau et des terrains karstiques Meditterrahee, 1963, No. 4.
121. Schmidt E., Schruppf H., Gebauer M. Ein Beitrag zur Berechnung von Wassermengen in Absenkungs-Fuguren, die durch Grundwasserabsenkung mittels Brunnen und Chächten entstehen. — "Bergbautechnik", 1964, No. 10.
122. Semmler W. Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse in Ruhrgebiet". — "Glückauf", 1960, No. 8.
123. Stallman R. W. Numerical analysis of regional water levels to pe-fine aquifer hydrology. — "Trans. Amer. Geophys. Union", 1956, vol. 37, No. 4.
124. Theis Ch. V. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. — "Trans. Amer. Geophys. Union", 1935.
125. Thurner A. Die Retention des unterirdischen Wasser. — "Gas, Wasser, Wärme", 1965, Bd. 19, Hft. 5.
126. Wundt W. Eine Schätzung des frei abflusstähigen Grundwasserrats. — "Gas-und Wasserfach", 1967, 108, No. 34.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Раздел I	
Вероятностно-статистический метод прогноза максимальных водопритоков в систему горных выработок	5
Глава 1. Состояние вопроса	5
Глава 2. Основные стокообразующие факторы и их влияние на величину и режим водопритоков в горные выработки	14
§ 1. Прямые и косвенные стокообразующие факторы	14
§ 2. Влияние природных и горно-эксплуатационных факторов на изменение водопритоков в горные выработки на различных этапах отработки месторождения	23
Глава 3. Решение задач по прогнозу водопритоков с применением вероятностно-статистических методов	25
§ 1. Обоснование возможности применения теории вероятностей и математической статистики для анализа и прогноза водопритоков в горные выработки	25
§ 2. Типы решения задач по прогнозированию водопритоков в горные выработки	30
Глава 4. Типизация месторождений твердых полезных ископаемых по условиям применения вероятностных методов для прогноза водопритоков. Расчетные схемы для разных типов месторождений	33
Глава 5. Прогноз максимальных среднемесячных и среднесуточных водопритоков	41
Глава 6. Применение вероятностно-статистических методов для оценки максимальных водопритоков в период разведки месторождения	44
Раздел II	
Вероятностно-статистический прогноз максимальных водопритоков на Миргалимсайском полиметаллическом месторождении	50
Глава 7. Природные условия района Миргалимсайского месторождения	
§ 1. Физико-географические условия	50
§ 2. Инфильтрация речных вод в зоне влияния рудничного водоотлива	57
§ 3. Геолого-гидрогеологическая характеристика	64
Глава 8. Характеристика изменения водопритоков в процессе отработки месторождения	74
Глава 9. Прогноз максимальных водопритоков в систему горных выработок Миргалимсайского месторождения	81
Заключение	87
Список литературы	89

Любовь Зельмановна Леви

Прогноз максимальных водопритоков в горные
выработки вероятностно-статистическими методами

Редактор издательства *Л. Г. Китаенко*
Технический редактор *В. В. Романова*
Корректор *Э. И. Капульская*

Сдано в набор 7/IX 1972 г. Подписано в печать

2/XI 1972 г. Т — 16484

Формат 60×90 1/16 Бумага № 2 Печ. л. 6

Уч.-изд. л. 6,6 Тираж 1600 экз.

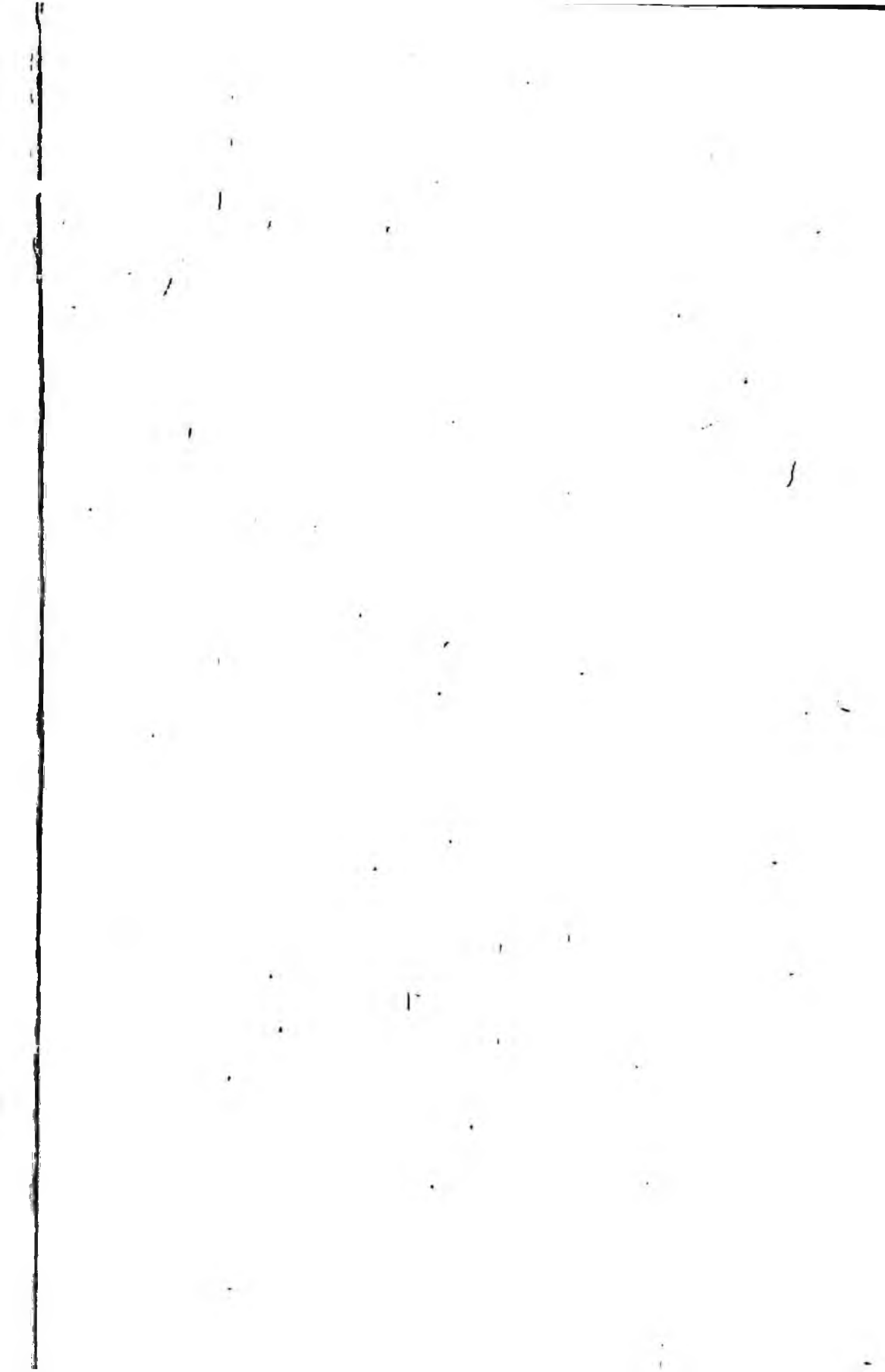
Заказ № 1400/4230—2 Цена 66 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Московская тип. № 32 «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете Совета Министров
СССР по делам издательств, полиграфии и
книжной торговли.

Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 25.





Цена 66 коп.