УДК 624.131:551.491.5

В.В. Антонов

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СТРАТЕГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РОДНИКОВОГО СТОКА

Рассмотрены вопросы искусственного регулирования подземного родникового стока, сформулированы основные эколого-гидрогеологические требования к системам регулирования, основанным на ресурсосберегающем подходе к использованию подземных вод.

Показано, что регулирование родникового стока должно вестись в направлении перераспределения внутригодового подземного стока. Даны математические выражения для целевых функций регулирования.

Предлагаемая стратегия проиллюстрирована примером регулирования подземного стока в долине р.Стрелка на Ижорском месторождении подземных вод. С помощью численного моделирования показано, что в условиях этого месторождения наиболее перспективно создание гидравлического барража и прямого воздействия на родниковую воронку.

Problems connected with artificial regulation of underground spring discharge are examined. Main ecology-hydrogeological requirements of the regulation systems based on a care resource strategy in groundwater using were formulated.

It is shown that the regulation of the spring discharge has to be made in the direction of the annual groundwater flow redistribution. Some mathematical equations for regulation special functions are given.

The offered strategy is illustrated by an example of groundwater flow regulation in the River Strelka valley with-in Izshorskoye Groundwateres Occurence (IGO). It is shown, by means of numerical modelling, that in the IGO conditions a hydraulic barrage and a direct influence on the spring depression is the most available regulation method.

Отметим прежде всего, что в своей практической деятельности мы можем ориентироваться на такое использование родникового стока, что дополнительному инженерному воздействию не подвергнутся ни область формирования подземного стока, ни условия выхода его на дневную поверхность. Это возможно, например, если предполагается использовать лишь те объемы воды, которые естественным образом и при незначительном вмешательстве человека, выразившемся только в

простейшем каптировании родниковой воронки, уже поступили (вытекли) из земных недр на дневную поверхность (рис.1). Эти объемы воды можно тем или иным образом распределить для удовлетворения различных потребностей: питьевого и технического водоснабжения, ирригации и пр.

Проблема удовлетворения запросов многих водопользователей с помощью фиксированного объема водных ресурсов (другими словами, проблема наиболее правильного, рационального распределения имеющихся запасов воды) обычно рассматривается как проблема рационального использования родникового стока [1]. Процедура рационализации, проводимая с использованием тех или иных, заранее определяемых количественных критериев (функций оптимизации), может рассматриваться как оптимизация [7, 19] использования родникового стока.

Одним из первых шагов на пути к обеспечению рационального и оптимального использования родникового стока является организация каптажа источников [4, 5, 14, 17].

Известно, что каптаж источников заключается в обустройстве выходов подземных вод, обеспечивающем более концентрированное их поступление из водоносного пласта в водозаборную систему и предохраняющем воду от поверхностного загрязнения [8, 11, 14, 18]. Вид каптажа во многом зависит от направления движения подземных вод и прежде всего типа источника (восходящий или нисходящий), мощности перекрывающих отложений, характера выхода, водообильности источника и т.д. [14, 17, 18].

Каптаж может представлять собой простейшую каменную наброску, уложенную на очищенную от наносов поверхность коренных водоносных пород. В более сложных случаях для каптажа устраивают специальные водосборные камеры-колодцы [14]. Во многих случаях при каптаже источников находят применение опускные колодцы (в восходящих источниках) и траншейные водосборы (в нисходящих) [4, 14].

Отметим главное назначение каптажа:

1) улучшение условий водосбора поступающих на дневную поверхность подземных вод и подача их водопотребителю;

2) улучшение санитарных условий непосредственно в области выхода родника;

3) организация зоны санитарной охраны (первый пояс) вокруг родника;

4) создание благоприятной обстановки, препятствующей нежелательному изменению качества подземных вод.

Во многих случаях возможно целенаправленное инженерное воздействие как на сам родник, так и на область

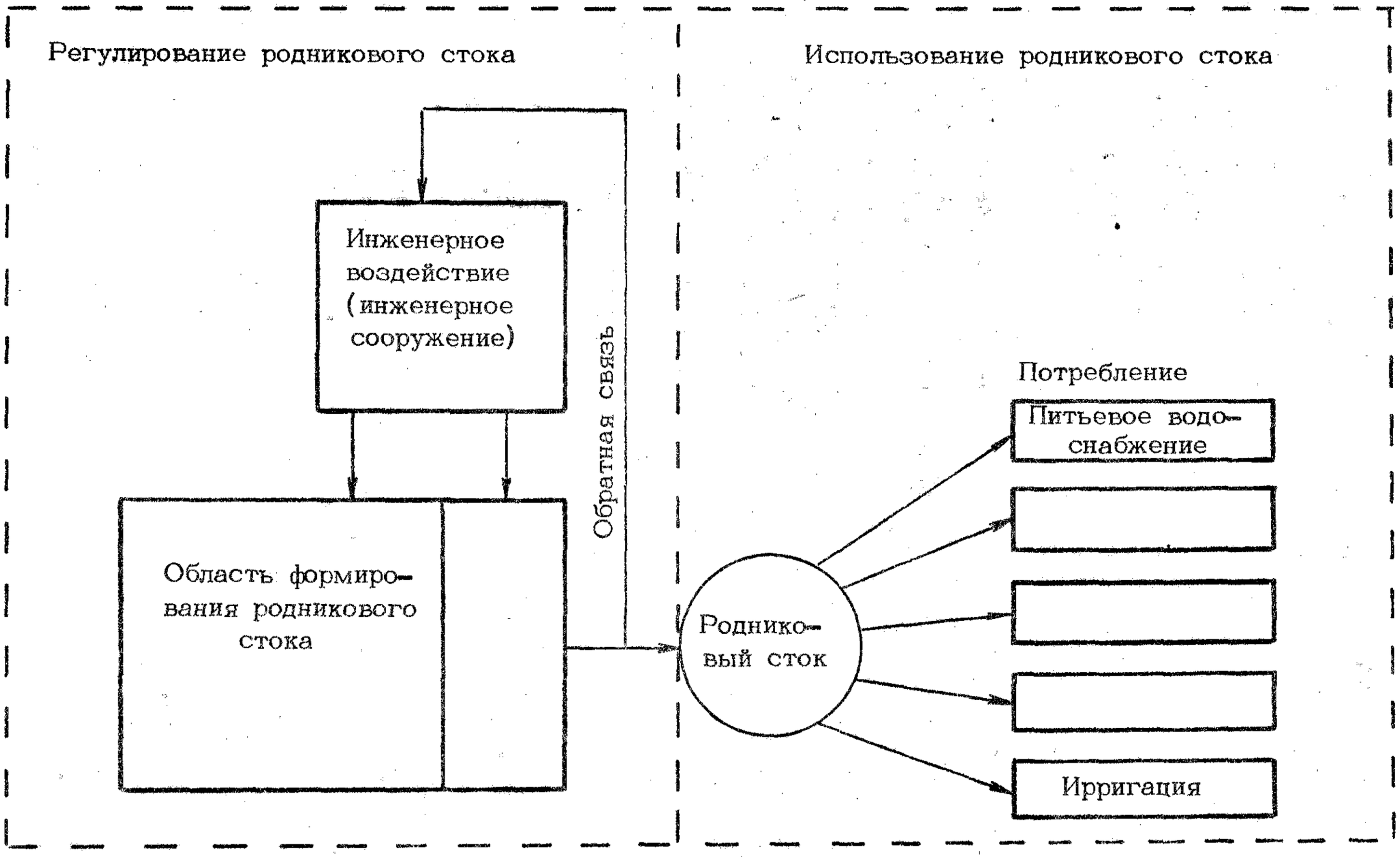


Рис.1. Схема взаимодействия основных элементов системы регулирования и использования родникового стока

формирования родникового стока (рис.2). Техногенное воздействие, направленное на изменение характеристик родникового стока, будем называть регулированием родникового стока, возможным в пассивной и в активной формах. Под активной формой будем понимать регулирование с обратной связью, которое при задании целевой функции регулирования родникового стока переходит в управление [7, 19].

Воздействовать на область формирования родникового стока можно в форме его магазинирования (аккумуляции) или в форме искусственного восполнения родникового стока. В первом случае аккумулируется сам родниковый сток (или его часть), т.е. сохраняются воды самого родника. Магазинирование может быть подземным или поверхностным [13].

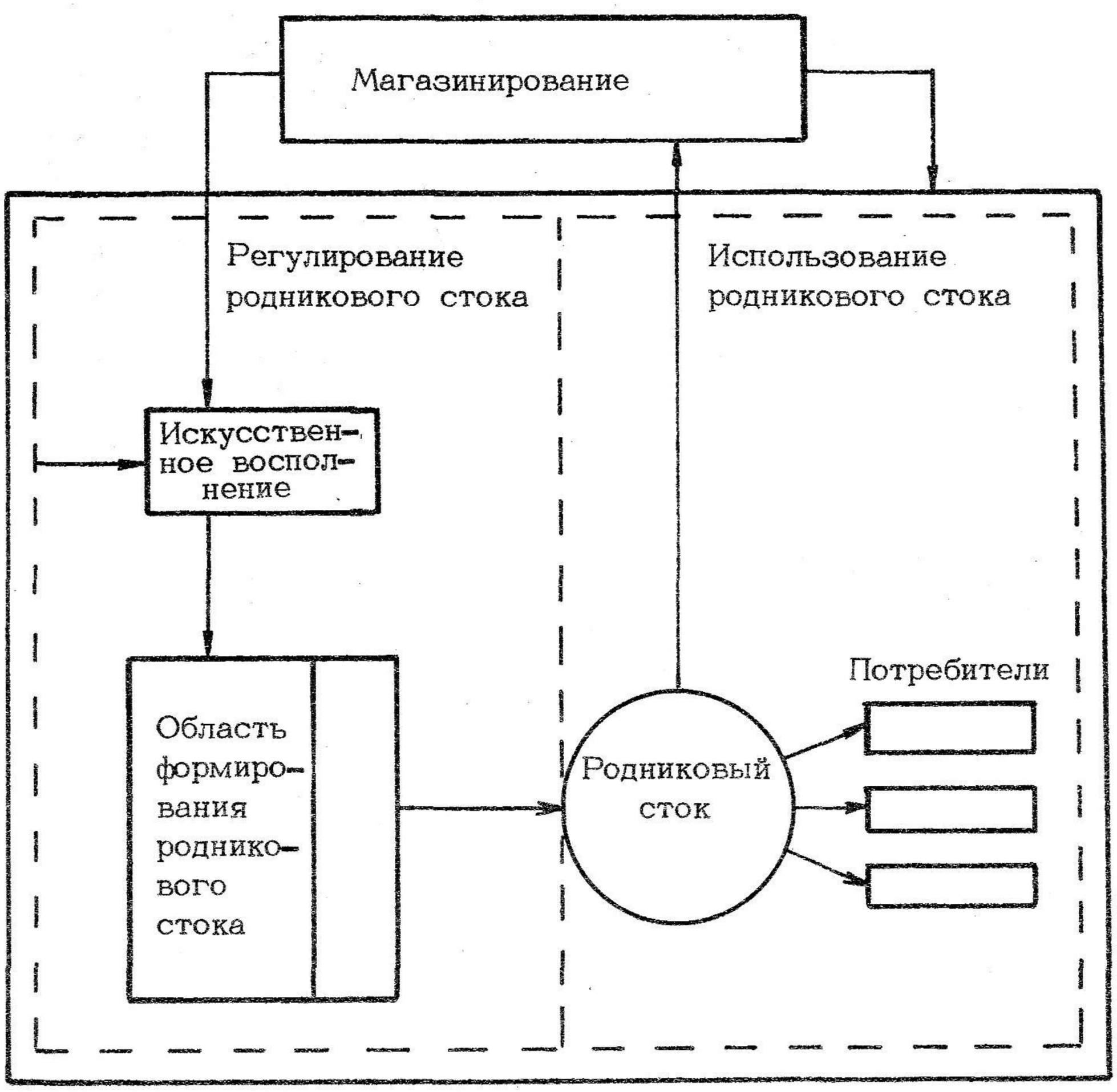


Рис.2. Соотношение между магазинированием и искусственным восполнением в области формирования родникового стока

При искусственном восполнении вытекающие из родника воды в большинстве случаев пополняются за счет других источников подземных вод. Однако возможны варианты, когда в качестве источника восполнения может использоваться часть родникового стока.

Каждая система регулирования родникового стока по-разному влияет на изменение гидрогеологических условий в области формирования родникового стока. Некоторые из них могут значительно изменить режим родникового стока вплоть до полного исчезновения родника. В свою очередь, резкое изменение уровенного режима может повлечь и другие негативные последствия экологического характера.

В этой связи обратимся к весьма сложной проблеме обоснования возможной стратегии и критериев регулирования родникового стока. Возможны два альтернативных подхода:

1. *Регулирование может быть направлено на получение* максимально возможного дебита родника (или суммарного объема вытекшей воды) без учета негативных последствий (например, исчезновения самого родника как природного объекта), к которым это может привести. Данная стратегия достаточно традиционная и по существу является частным случаем так называемой ресурсоэксплуатирующей или природоэксплуатирующей стратегии [2, 6, 10, 15, 16].

2. В словиях интенсивного техногенного воздействия на окружающую среду более перспективна ресурсосберегающая стратегия [12, 15, 16] регулирования, суть которой сводится к минимизации воздействия на окружающую среду и более полному использованию самих подземных вод.

Вероятно, все критерии регулирования родникового стока можно классифицировать на геолого-гидрогеологические, технические, экономические и экологические.

Геолого-гидрологические критерии определяются конкретными гидрогеологическими условиями формирования родникового стока и условиями его выхода на дневную поверхность, а также характером гидрографа родника. Из этих факторов выделим степень промытости ("проводимости") структуры. Рассмотрим три случая:

1) высокая проницаемость пород и низкая их водоотдача;

2) низкая проницаемость и высокая емкость пород;

3) высокие проницаемость и емкость пород.

Случаи 1 и 2 довольно сложны для регулирования. В частности, в случае 1 вытекание из структуры происходит быстро, а "задержать" вытекание подземной воды из структуры затруднительно. Случай 3 может дать такое соотношение

параметров, при котором неравномерность в расходе родника мала и он практически зарегулирован и "работает" с некоторым средним расходом. Наилучшим образом для регулирования подходит случай 2. При этом весьма интересно поведение родникового стока в средах с "двойной" или "тройной" пористостью (карстовые пустоты - трещины - поры блоков) [3, 9].

Технические критерии связаны с наличием технических решений для регулирования родникового стока. Например, регулирование с помощью скважинных водозаборов достаточно просто, поскольку сводится к бурению серии обычных вертикальных скважин, опыт сооружения которых достаточно широк.

Экономические критерии диктуются необходимостью получения экономической выгоды (прибыли) от мероприятий по регулированию родникового стока. Во многих случаях (например, в аридных областях) получение даже небольших дополнительных объемов пресных вод в самые напряженные меженные моменты более экономически выгодно, чем сооружение дополнительных водозаборов или поиск альтернативных источников водоснабжения (опреснение, подача воды из других регионов и прочее). Подчеркнем однако, что вопрос об экономических критериях весьма сложен и здесь не рассматривается.

В качестве главных экологических требований при ориентировке на ресурсосберегающую стратегию использования подземных вод, как нам представляется, могут быть названы следующие:

1. Родник должен продолжать свое существование и после сооружения системы регулирования (т.е. он не должен "исчезнуть" после наших инженерных "упражнений"). Сохранение стока родника может быть потребовано для всего расчетного периода водопотребления или его восстановления после кратковременного (краткосрочного) "исчезновения". Наилучшим можно считать вариант регулирования, при котором при отключении системы регулирования характеристики подземного стока вернулись к исходному состоянию, т.е. процессы в зоне формирования родникового стока и в самой родниковой воронке должны быть обратимыми.

2. Влияние системы регулирования на окружающую среду должно быть минимальным. Это значит, что колебания уровней подземный вод на территории, примыкающей к регулируемому роднику, должно оставаться в пределах естественного многолетнего диапазона колебаний уровней. В этих условиях уровни вод останутся в пределах тех слоев горных пород, в которых они находились и в естественных природных условиях.

Требование продолжения функционирования родника может быть выполнено, если минимальный расход родника не меньше некоторой заданной (допустимой) величины, определяемой соображениями экологии. В качестве первого приближения можно взять минимально допустимую величину, равную гарантированному 30-суточному расходу 95-процентной обеспеченности [3].

Итак, выдвигаемые требования довольно серьезны и их удовлетворение представляется достаточно сложным. Однако, как нам кажется, выходом из этого положения может быть следующий принципиальный подход.

Прежде всего, регулирование родников должно вестись в направлении перераспределения их внутригодового стока. В этих условиях можно идти по линии создания таких условий, при которых объем воды, накопленной в области формирования родникового стока, вытекал бы как можно более равномерно с уменьшением расходов в паводковые периоды и увеличением их в межень.

С учетом перечисленных выше критериев в математическом плане целевые функции регулирования родникового стока могут быть представлены в виде

$$Q_{\max}/Q_{\min} \rightarrow \min \qquad (1)$$

при ограничениях для всех точек наблюдений

$$Q_{\min} \geq Q_0; \qquad H_{\min} \leq H \leq H_{\max}, \qquad (2)$$

где $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ - минимальный и максимальный расходы родника в пределах некоторого промежутка времени; $H_{\min}$ и $H_{\max}$ - минимально и максимально допустимые напоры подземных вод в пределах области формирования родникового стока; Q_0 - минимально допустимый расход родника после выполнения мероприятий по его регулированию.

В качестве второй целевой функции можно предложить минимизированное отношение

$$t_0 / t_1 \rightarrow \min, \qquad (3)$$

где t_0 - период, когда расход родника меньше среднего расхода; t_1 - период, когда родниковый стока превышает средневзвешенную величину.

В содержательном плане выполнение критериев (1)-(2) или (2)-(3) может быть обеспечено следующим образом. В период максимальных расходов родника осуществляется сброс

вытекшей воды без включения системы регулирования. Это необходимо для того, чтобы обеспечить положение уровней подземных вод не выше природных. Сбрасываемые объемы подземных вод могут рассматриваться как некоторый транзитный объем. Далее включается система регулирования родникового стока, работа которой должна способствовать более плавному вытеканию оставшихся объемов подземных вод. Объем воды, идущий на регулирование, должен разгружаться в те периоды, которые в естественных условиях характеризуются резким спадом родникового стока (рис.3).

Заметим, что транзитный объем родниковых вод может аккумулироваться в специально построенных для этого водохранилищах и в дальнейшем использоваться для регулирования.

Предлагаемый ресурсосберегающий подход к регулированию родникового стока обеспечивает минимальное воздействие на геологическую среду, когда и уровни, и расходы подземных вод находятся в пределах естественных среднемноголетних колебаний. Перспективные с этих позиций системы регулирования родникового стока являются предметом наших дальнейших исследований.

Проиллюстрируем возможности регулирования родникового стока и обоснования наиболее приемлемых методов регулирования на примере численного моделирования подземного

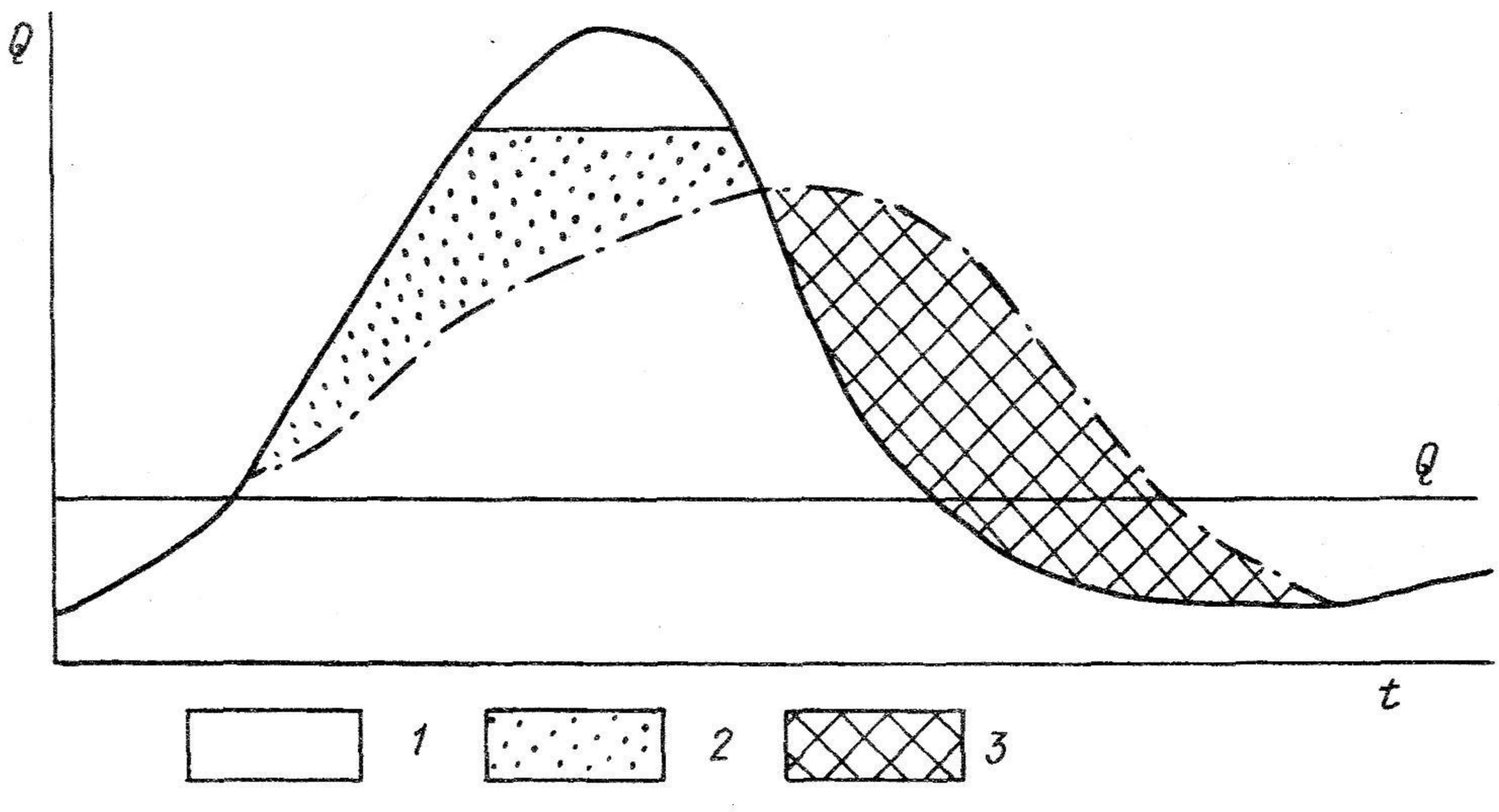


Рис.3. Схема перераспределения родникового стока
1 - транзитный объем воды; 2 - объем воды, идущий на регулирование родникового стока; 3 - дополнительный объем воды

стока долины р.Стрелки на Ижорском месторождении подземных вод [1].

Серия модельных задач (в моделировании принимал участие Б.Садек) по оценке эффективности работы систем искусственного регулирования родникового стока р.Стрелки состояла из двух основных частей, которые подразделялись в зависимости от типа моделируемых систем регулирования. В качестве основных приняты следующие варианты:

1) системы пассивного регулирования ("непроницаемый" и "проницаемый" барраж);

2) системы активного регулирования ("гидравлический" барраж с различными вариантами нагнетания или в комплексе с инфильтрационном бассейном, регулирование изменением перепада напоров в системе каптажа).

Для повышения корректности решения задач и возможности сопоставления данных моделирования по всем вариантам местоположение систем регулирования задавалось одним и тем же (за исключением местоположения инфильтрационного бассейна открытого типа). Участок проектного строительства гидротехнических сооружений систем регулирования выбирался, исходя из местоположения родника, направления движения подземных вод, протяженности в плане участка интенсивной разгрузки в долине реки и расстояния между гидротехническими сооружениями.

С учетом этих факторов местоположение гидротехнических сооружений моделировалось субмеридионально (вкрест направления естественного потока подземных вод) на расстоянии 3000 м от источников к западу с общей их протяженностью 4000 м [1]. Ширина моделируемого контура менялась в зависимости от конструктивных особенностей сооружения.

Область задания инфильтрационного бассейна облегченного типа определялась в зависимости от расстояния до источников и особенностей рельефа местности.

Наиболее близким участком, на котором возможно создание земляной плотины, является верхняя часть вреза долины р.Стрелки, расположенная в пределах Ижорского плато и созданная в результате эрозионной деятельности временных потоков поверхностных вод в периоды снеготаяния [1].

ВАРИАНТ 1. Пассивное регулирование с помощью подземного абсолютно непроницаемого барража (непроницаемая граница второго рода длиной 4000 м шириной 5 м). Итоги моделирования этого сооружения с прогнозом изменения гидрографа группы источников указывают на негативные последствия такого техногенного воздействия, так как плотина, которая полностью не пропускает воду, меняет даже вид

водосборного бассейна, что очень хорошо видно по изменению направления движения подземных вод в сторону водосборного бассейна р.Шингарки с общим резким понижением расходов родников р.Стрелки до 50 % (рис.4). Такой вариант регулирования может быть полезен только в случае, если цементационная завеса будет построена ниже по потоку и создаст подпор грунтовых вод, что позволит захватить часть подземного стока, не поступающего в воронку родника, и увеличить расход в меженный период. Однако условия данного месторождения не позволяют устраивать барраж ниже источников из-за геологических условий Ижорского плато (выклинивание на границе глинта).

ВАРИАНТ 2. Пассивное регулирование с помощью несовершенной по степени сплошности цементационной завесы с коэффициентом водопроводимости на участке ее сооружения, равным 3000 $м^2$/сутки, т.е. в 3 раза ниже естественного значения проводимости. Моделирование показало, что "несовершенный" барраж (проницаемая противофильтрационная завеса) делает гидрограф источников более равномерным и довольно постоянным в течение почти всего моделируемого года. С начала года до конца октября расход группы источников составляет почти 500 л/с (за исключением незначительного пика в самый интенсивный период питания). Однако после резкого снижения питания расход значительно падает и составляет всего 290 л/с.

Таким образом, положительным эффектом сооружения "несовершенного" барража следует признать относительное постоянство расхода источников в течение 3/4 года и сглаживание пика паводкового периода в мае. Однако суммарная результирующая расчетных характеристик баланса показывает, что мы не только не получаем дополнительного приращения расходов источников в зимнюю межень, но и дополнительно теряем часть естественных ресурсов в паводковые периоды (рис.4). Подобные результаты позволяют считать, что данный вариант регулирования может быть перспективным только в сочетании с другими методами активного воздействия на режим источника.

ВАРИАНТ 3. Активное регулирование родникового стока с помощью нагнетательных контуров ("гидравлический барраж") и искусственного восполнения запасов, например, с помощью инфильтрационных бассейнов открытого типа [13]. В нашем случае моделировалась система "гидравлического барража", в котором отдельные нагнетательные скважины располагались линейно.

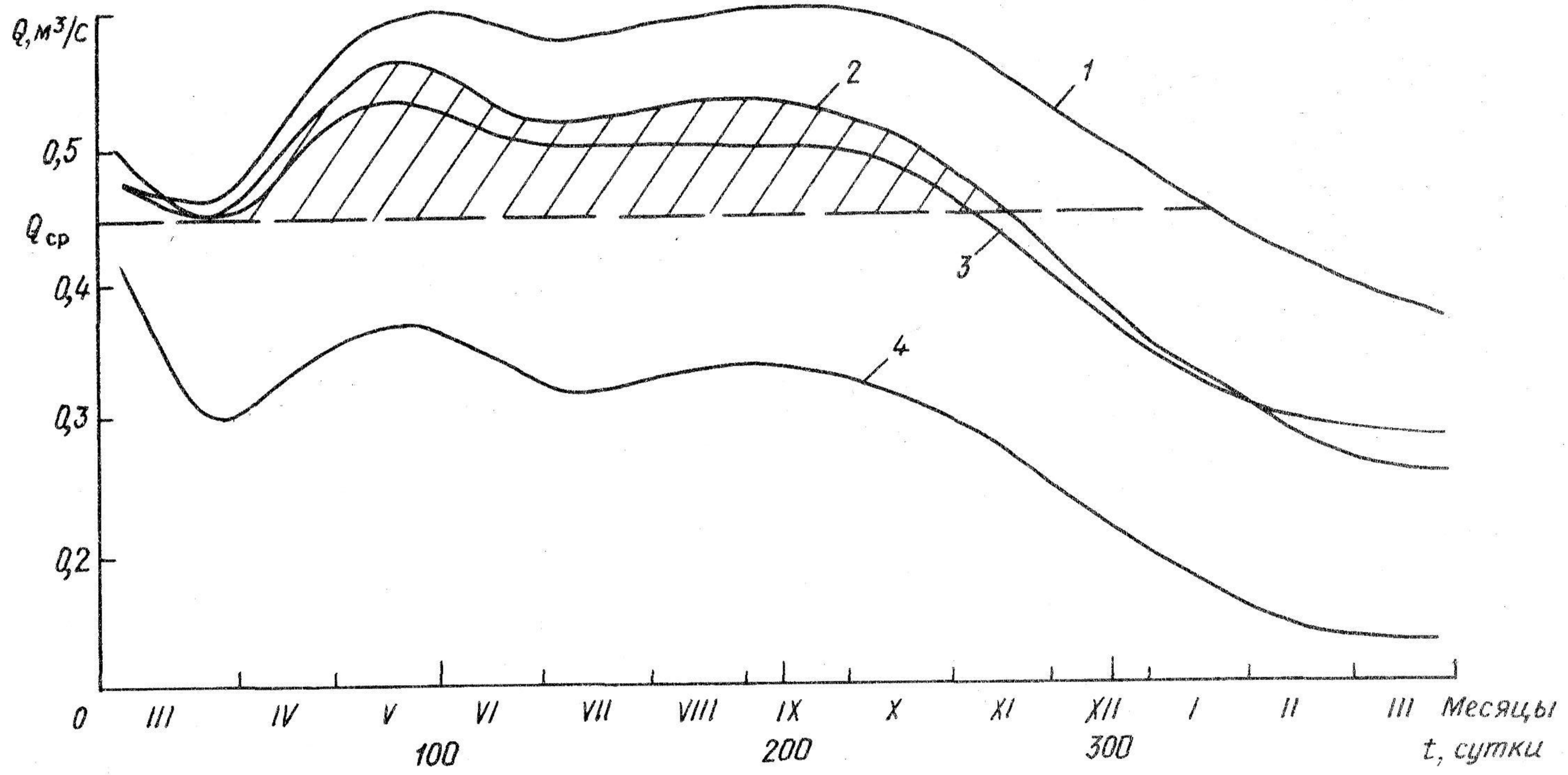


Рис.4. Результаты оценки эффективности регулирования родникового стока р.Стрелки с помощью противофильтрационных завес (заштрихован объем воды, используемый для регулирования)

1 - в естественных условиях; 2 - при работе водозаборов на Ижорском плато; 3 - при создании проницаемого барража; 4 - при создании непроницаемого барража; $Q_{ср}$ - среднегодовой расход в год 95-процентной обеспеченности

Суммарный объем воды, используемой для нагнетания, может быть получен из разных источников, в том числе и из самого родникового стока (или его части). При моделировании предполагалось, что для удовлетворения водопотребности достаточно 450-500 л/с (т.е. $Q = 450$ л/с), а для нагнетания - того расхода, который превышает эту норму за весь период паводка (рис.5) . Рассчитанный таким образом объем составил 1335 тыс.м^3. Использование этого объема было осуществлено следующим образом.

В первом случае нагнетание осуществляется в течение 224 суток (с начала апреля до конца октября). Расход нагнетания, равный 0,069 м^3/с, распределялся равномерно. Анализ гидрографа источников показал быструю реакцию на восполнение запасов со значительным подъемом расхода, совпадавшим по времени с началом нагнетания, и снижением после прекращения нагнетания и за время межени. Гидрограф двух последних месяцев практически совпадает с исходным гидрографом, т.е. при таком регулировании мы получаем значительный дополнительный объем воды в декабре.

Во втором случае нагнетание (расход 0,105 м/с) проводилось 147 суток (с ноября по февраль). Этот вариант позволяет получить большой дополнительный объем воды, однако требует инженерных решений о средствах и методах создания водохранилищ значительного суммарного объема.

Общий анализ вариантов нагнетания обнаружил быструю реакцию режима родников на изменения в режиме нагнетания, что объясняется, на наш взгляд, двумя взаимосвязанными причинами: близостью нагнетательных скважин к родникам и высокой пьезопроводностью горных пород.

Поэтому регулирование должно включать дополнительно уменьшение расстояния между скважинами и родником либо перенесение нагнетательного контура дальше к западу, либо создание дополнительных фильтрационных сопротивлений между ними, в том числе путем сооружения цементационных завес.

ВАРИАНТ 4. Активное регулирование в комплексе с инфильтрационным бассейном. Объем воды для нагнетания сохраняется с помощью искусственного водохранилища, которое может быть размещено вдали от области формирования родникового стока (в наших условиях за пределами глинта) или в области формирования родникового стока бассейна р.Стрелки. Такое водохранилище может быть накопителем во время паводка, одновременно питать водоносный комплекс и служить источником воды для нагнетания во время межени.Этот последний вариант водохранилища нами был промоделирован.

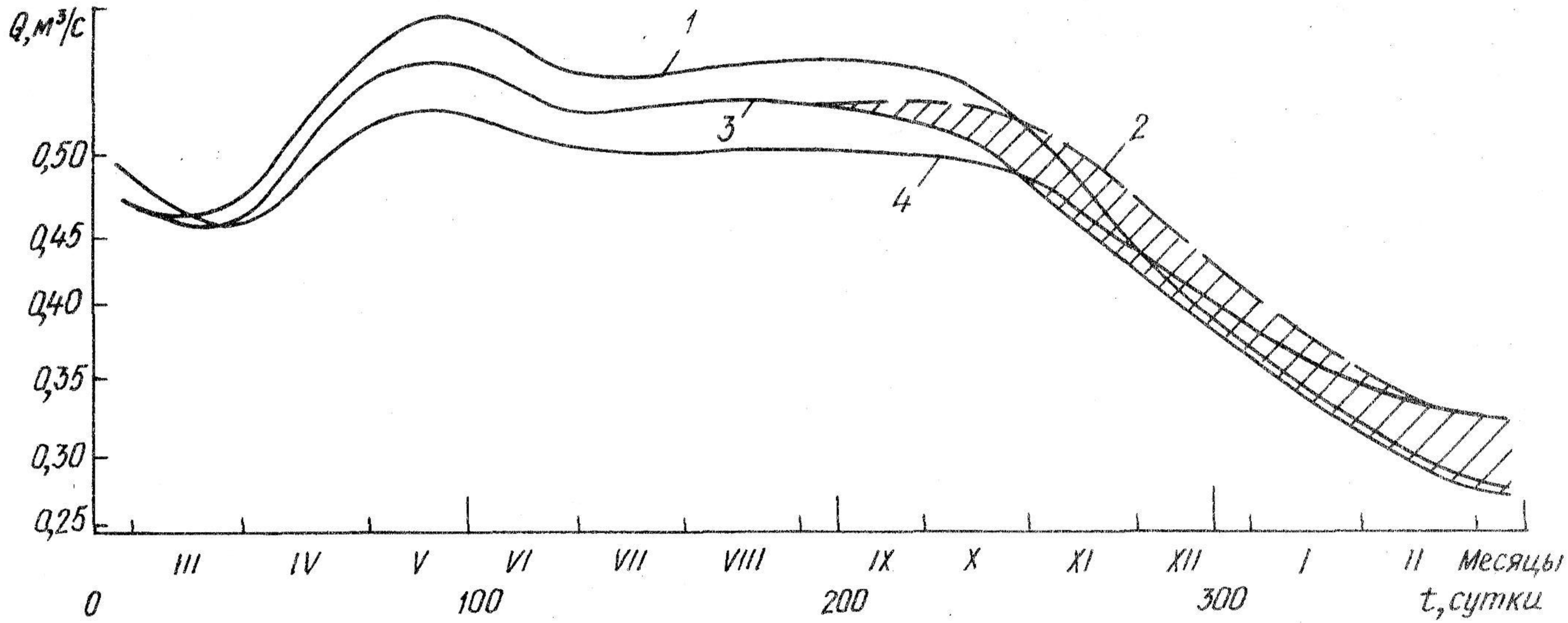


Рис.5. Результаты оценки эффективности регулирования родникового стока р.Стрелки с помощью "гидравлического барража" (заштрихованы регулируемые запасы)

1 - нагнетание в период апрель-октябрь (вариант 1); 2 - нагнетание в период октябрь-февраль (вариант 2); 3 - при работе водозаборов на Ижорском плато; 4 - нагнетание по варианту 2 с одновременным созданием противофильтрационной завесы

Гидродинамические расчеты восполнения ресурсов подземных вод при работе инфильтрационных сооружений проведены для двух основных схем: при постоянном напоре (уровне) в бассейне (вариант 4.1) и при постоянном инфильтрационном расходе (вариант 4.2).

Был принят вариант 4.2 с Q = 0,09 м/с при продолжительности инфильтрационного питания с начала мая по конец ноября (172 дня в году).

Анализ результатов моделирования по оценке влияния водохранилища на расход источников (рис.6) показал возможность получения незначительного дополнительного объема воды в начале моделируемого гидрологического года (в паводок) с ростом суммарного объема разгрузки за весь период.

Регулирование с использованием инфильтрационного бассейна и одновременным (или разновременным) нагнетанием аккумулированных объемов воды моделировалось по варианту 4.2. Процесс заполнения водохранилища и инфильтрационного питания начинается с времени паводка, а нагнетания - перед наступлением осенней межени. Расчетный режим источников свидетельствует о получении значительного дополнительного объема воды как в меженный период, так и за весь год в целом (рис.6).

ВАРИАНТ 5. Регулирование с помощью группы нагнетательных скважин и "несовершенного" барража. Цель такой комбинации заключается в прогнозе возможности подземного магазинирования избытка объема воды в горных породах с высокими фильтрационными свойствами. Технические характеристики барража и режим нагнетания были приняты по варианту 4.2.

Анализ гидрографа источников при таком методе регулирования (см.рис.5) показывает снижение расхода источников за весь моделируемый период, особенно по сравнению с результатами нагнетания без барража, что подтверждает вывод о потере значительного объема воды в результате оттока подземных вод за пределами водозаборного бассейна в соседние бассейны.

Была рассмотрена также схема, предусматривающая регулирование родникового стока в долине р.Стрелки прямым техногенным воздействием на выходы источников с помощью системы каптажей, которая позволяет изменить уровни воды в самой родниковой воронке. Изменение абсолютных значений уровня воронки способствует регулированию режима за счет возникновения дополнительных перепадов напоров. Каптаж источников р.Стрелки моделировался изменением абсолютных отметок выходов источников в разные периоды моделируемого года. В начале моделируемого года источники

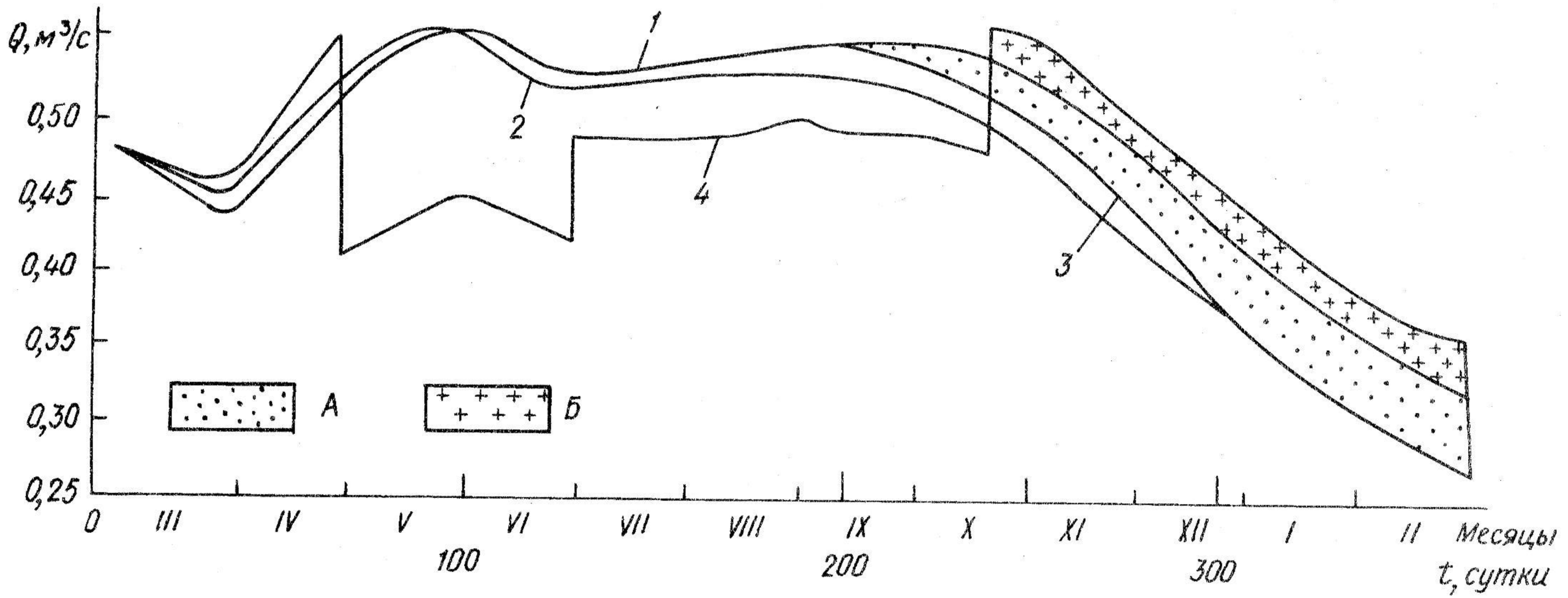


Рис.6. Результаты оценки эффективности регулирования родникового стока р.Стрелки с помощью изменения уровней в родниковой воронке:

1 - создание водохранилища в сочетании с "гидравлическим барражом"; 2 - при работе водозаборов на Ижорском плато; 3 - создание водохранилища; 4 - каптаж родниковой воронки; А - регулируемые запасы; Б - дополнительные регулируемые запасы (при частичном осушении водоносного горизонта)

функционировали без воздействия системы, в конце апреля аболютная отметка выходов родников была увеличена на 1 м, что изменило расход с 560 до 410 л/с. Такое состояние сохранялось до конца июля, после чего моделировался перепад напоров с исходным положением уровня, сохраняемым до конца октября (начала меженного периода). С ноября абсолютные отметки выходов были снижены на 1 м (см.рис.6).

Гидрограф источников (см.рис.6) отражает ступенчатую динамику изменения расхода в каждом временно́м периоде и свидетельствует о перераспределении годового объема воды источников, совпадающей с графиком водопотребности.

Анализ результатов численного моделирования различных методов искусственного регулирования родникового стока показал слабую эффективность методов пассивного регулирования в связи с невозможностью строительства техногенных сооружений ниже по потоку даже при комбинации метода "проницаемого" барража с группой нагнетательных скважин, так как дополнительные объемы воды в пределах 18,5 % можно получить и без барража за счет только нагнетательных скважин с режимом нагнетания по варианту 4.2. Вместе с тем регулирование родникового стока изменением абсолютных отметок выхода источника дает преимущество данному методу с учетом его динамичности, заключающейся в полном перераспределении расхода источника в течение моделируемого гидрологического года.

Все вышеизложенное дает основание полагать, что наиболее перспективными в условиях Ижорского месторождения подземных вод являются методы гидравлического барража и прямого воздействия на родниковую воронку. Для окончательного выбора более эффективного метода необходимы дополнительные детальные инженерные исследования, численное моделирование и специальные технико-экономические расчеты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Антонов В.В., Грейсер Л.Е., Грейсер Е.Л.* Оценка ущерба родниковому стоку от работы водозаборов на месторождениях трещинно-карстовых вод//Экологическая гидрогеология стран Балтийского моря: Тезисы докл.междунар.семинара. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1993.

2. *Анучин В.А.* Основы природопользования. Теоретический аспект. М.: Мысль, 1978.

3. *Боревский Б.В., Хордикайнен М.А., Язвин Л.С.* Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. М.: Недра, 1978.

4. *Гефер Г.* Подземные воды и источники. М.: Сельхозгиз, 1925.

5. *Кейльган К.* Подземные воды. М: Сельхозгиз, 1935.

6. *Лемешев М.Я.* Природа и мы. М.: Сов.Россия, 1989.

7. *Ли Э.Б., Маркус Л.* Основы оптимального управления. М.: Наука, 1972.

8. *Маринов Н.А., Толстихин Н.И.* Мощные карстовые источники Евразии//Горно-геологическое значение карста на Ленинградском месторождении горючих сланцев. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973.

9. *Мироненко В. А.* Динамика подземных вод. М.: Недра, 1983.

10. *Небел Б.* Наука об окружающей среде. Пер.с англ. М.: Мир, 1993. Т.1.

11. *Овчинников А. М.* Общая гидрогеология. М.: Госгеолтехиздат, 1955.

12. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975.

13. *Плотников Н.И., Плотников Н.А., Сычев К.И.* Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. М.: Недра, 1978.

14. *Принц Е. , Кампе Р.* Гидрогеология. М .: Сельхозгиз, 1937.

15. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990.

16. *Реймерс Н.Ф.* Надежды на выживание человечества.Концептуальная экология.М.: ИЦ "Россия молодая", 1992.

17. *Саваренский Ф.П.* Гидрогеология. М.-Л.: Объединенное науч.--техн.изд-во НКТП СССР. 1935.

18. Справочное руководство гидрогеолога / Под ред. В.М.Максимова. Л.: Недра, 1979.Т.1.

19. *Юдин Д.Б.* Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: Сов.радио, 1974.