

## ВОДНЫЙ БАЛАНС И ПОДЗЕМНЫЙ СТОК УРАЛА

Г. А. Максимович и В. А. Балков

Всестороннее знание водного баланса, факторов и географических закономерностей распределения его компонентов на территории Урала приобретает все большее значение в связи с быстрым развитием народного хозяйства и возрастающей потребностью в водных ресурсах. В литературе обычно рассматривается водный баланс суши или всей территории СССР (Великанов, 1940; Зайков, 1946; Троицкий, 1948; Кузин, 1950, 1960; Львович, 1959, Воскресенский, 1962 и др.). Для физико-географических регионов, в частности Урала, таких работ почти нет. Можно отметить статью В. С. Гвоздева (1958), в которой сделана попытка уточнить значения отношений, испарения к стоку (коэффициент  $\varphi$ ). Он заменяет величину испарения с поверхности водосборов испарением с водной поверхности. В предложенной схеме гидрологического районирования В. С. Гвоздев не использовал материалы по горной части Урала. Поэтому его схема не отражает влияния рельефа на ход изолиний коэффициента  $\varphi$ .

Водный баланс Пермской области изучен лучше. Для этой территории А. С. Шкляев (1958, 1959) произвел районирование по элементам водного баланса. Используя схему гидрологического районирования В. А. Троицкого (1948), он дает свою схему, включающую гидрологические страны, зоны, провинции, округа и районы.

Имеется и ряд работ, посвященных характеристике отдельных компонентов водного баланса всего Урала (Соколовский, 1943; Шкляев и Быкова, 1960; Чикишев, 1960; Балков, 1962; Быков, 1963) и Пермской области (Матарзин и Шкляев, 1957; Балков, 1958; Дубровин, Матарзин, Печеркин, 1959; Куликов, 1960).

В водном балансе наиболее слабо изучена подземная составляющая общего стока. Между тем знание закономерностей географического распределения подземного стока имеет большое значение, в частности, там, где поверхностный сток слабо развит. Недостаточная изученность подземного стока в значительной степени объясняется трудностями, связанными с его выделением из общего годового.

Не останавливаясь на анализе всех существующих методов выделения подземной составляющей из общего годового стока, отметим, что наиболее совершенным является метод Б. И. Куделина (1951, 1954). Последний основан на учете гидрогеологических условий водосборов. Однако метод Б. И. Куделина применим в основном к водосборам рек равнинного типа, где подземный сток находится в гидравлической связи с рекой. Горные и полуторные реки Урала, для которых чаще гидравлической связи нет, этот метод, по-видимому, не будет иметь преимуществ перед другими. Широкому применению метода Б. И. Куделина

препятствует и отсутствие достаточной сети наблюдательных пунктов над режимом подземных вод долин рек, а также сложность и громоздкость расчетов.

Вследствие малой пригодности существующих методов для расчета подземного стока авторы ограничились выделением основного, или собственно грунтового, и артезианского питания рек Урала. Оно обусловлено грунтовыми водами, дренируемыми речной долиной, и водами нисходящих источников постоянного действия.

Рассмотрим основные особенности формирования водного баланса и связанного с ним подземного стока Урала.

Подсчет водного баланса и его компонентов выполнен по средним годовым суммам атмосферных осадков за период с 1891 по 1958 г. (68 лет) и среднему годовому стоку, приведенному к периоду более 50 лет (Воскресенский, 1962). Испарение с поверхности водосборов рек определялось как разность между величинами осадков и стока. Расчеты и анализ указанных материалов производились авторами с помощью атмосферных карт осадков, стока и испарения, составленных для территории Среднего и Южного Урала.

Атмосферные осадки. Широтная зональность в распределении атмосферных осадков, характерная для Русской равнины и Западно-Сибирской низменности, под влиянием Уральских гор, их высоты и повышенной шероховатости склонов, сменяется вертикальной поясностью.

В Предуралье и Зауралье изогипсы приобретают меридиональное расположение, почти симметрично огибая с юга наиболее высокие части Среднего, а также Южного Урала. Эти районы отличаются наибольшим количеством осадков: на Южном Урале – 600–630 мм, на Среднем – 800–860 мм. В пониженной части Среднего Урала их количество уменьшается до 500–530 мм.

В Предуралье количество осадков увеличивается с юга на север от 350 до 550 мм, а в Зауралье – от 300 до 500 мм. В Зауралье под влиянием Уральских гор снижение величины осадков составляет около 50 мм. Таким образом, распределение осадков повторяет картину изменения высот. Характерно, что районы максимумов осадков несколько смещены к западу от уральского водораздела. Это связано, по-видимому, с влиянием шероховатости наветренного западного склона Уральского хребта. Изменение осадков на каждые 100 м высоты на западном склоне составляет 63–71 мм и на восточном 49–50 мм (Шкляев, Логинова, Никулина, 1961).

Испарение с поверхности водосборов рек. Для оценки величины среднего годового стока гидрологически не изученных водосборов рек наряду с осадками, их распределением по территории необходимо знать еще и величину годового испарения с поверхности водосборов. Однако составленная П. С. Кузиным (1950) мелкомасштабная карта испарения с территории

СССР отличается большой схематичностью. Поскольку опубликованная В. А. Троицким (1948) более подробная карта испарения также не лишена отмеченного недостатка, это побудило авторов составить карту испарения с поверхности водосбора рек Урала в масштабе 1:4 000 000. Были использованы материалы средних многолетних сумм осадков и значения стока водосборов 70 рек.

Осадки и радиационный баланс являются основными факторами, определяющими испарение с поверхности водосборов и распределение его значений по территории. Величина радиационного баланса на Урале уменьшается с юга на север и от равнин к горам. В том же направлении уменьшается и величина испарения. На крайнем юге Урала, несмотря на увеличение радиационного баланса, испарение уменьшается, что связано с уменьшением количества осадков.

Сток. Распределение стока на Урале зависит от климатических условий и особенностей подстилающей поверхности. Влияние тех и других на сток осуществляется через осадки и испарение.

Картина распределения стока в значительной степени повторяет распределение осадков. По данным К. П. Воскресенского (1962), с юга на север величина стока увеличивается в Предуралье от 3 до 9, в Зауралье – от 1 до 8 л/сек·км<sup>2</sup>. Районы максимального стока на Среднем и Южном Урале совпадают с территориями наибольших значений осадков и наименьшего испарения. Вместе с тем в Зауралье величина стока убывает более резко, чем осадки. Уменьшение стока объясняется более значительным расходом влаги на испарение вследствие повышенной озерности и заболоченности. Так, по данным П. С. Кузина (1960), испарение с заболоченных пространств Западной Сибири, даже при несколько меньших значениях годовых осадков и радиационного баланса, превышает на 100–120 мм в год испарение в европейской части СССР.

Распределение среднего годового стока на территории Урала зависит от целого ряда физико-географических особенностей: средней высоты водосборов рек (Кеммерих, 1959; Быков, 1963), экспозиции, высоты водораздельных хребтов, их расположения на водосборе относительно преобладающего направления влажных воздушных потоков. Все эти особенности наряду с осадками и испарением необходимо учитывать при расчетах нормы годового стока для водосборов неизученных рек.

Соотношение испарения и стока. При гидрологическом районировании большое значение имеет изучение закономерностей географического распределения отношения  $K_s$  у или  $f$  (Шкляев, 1958, 1959; Гвоздев, 1958).

Результаты анализа значений отношения испарения с поверхности водосборов к стоку  $\phi$  дают основание считать, что эти значения на Урале уменьшаются с юга на север и от равнины к горам, что не нашло отражения в работе В. С. Гвоздева (1958).

Распределение коэффициента  $\phi$  характеризуется быстрым возрастанием его значений в Зауралье до 15–20. Это, как было указано ранее, объясняется увеличением испарения и уменьшением величины стока в этом районе.

Подземные воды Урала. На водный баланс и подземный сток рек существенное влияние оказывают гидрогеологические особенности водосборов. Поэтому, прежде чем перейти к анализу материалов по подземному стоку, рассмотрим гидрогеологические условия его формирования.

В пределах Уральской складчатой области можно выделить следующие основные водоносные комплексы пород.

Первый водоносный комплекс – трещинных вод массивно-кристаллических интрузивных пород – развит по преимуществу на восточном склоне Урала и характеризуется неоднородной водоносностью пород. Дебиты источников, вытекающих из гранитов, чаще всего составляют от 0,3 до 5 л/сек, изредка более значительные (до 25 л/сек). Дебиты некоторых скважин, вскрывших воды в гранитах, – до 10 л/сек. Особенно водообильны зоны дизъюнктивной трещиноватости гранитов и гранодиоритов. Наиболее значительные притоки вод были получены скважинами, вскрывшими зоны тектонических трещин широтного простирания (Южный Урал, Вишневые Горы).

Дебиты источников из ультраосновных пород в змеевиках достигают 1,5–2 л/сек. В дунитах на глубине до 500 м отмечаются и безводные зоны. Наиболее существенное значение приобретают при этом жильные подземные воды в трещинах и зонах дробления пород. Режим источников непостоянен.

Водоносные трещиноватые зоны в ультраосновных и основных породах возникают в связи с метаморфизацией пород и превращением их в серпентиниты. Такие зоны имеют практическое значение. Так, в серпентинитовом массиве в окрестностях г. Серова получены значительные количества хорошей воды, используемой для водоснабжения. Большие притоки вод были зафиксированы на Ключевском руднике. Некоторые заводы на Среднем Урале снабжаются водой подобных трещиноватых зон.

В Челябинской области вдоль серпентинизированных массивов наблюдаются зоны разломов верхнемелового, верхнетретичного и раннечетвертичного возраста со значительной обводненностью.

Необходимо отметить довольно большую обводненность трещин кварцевых жил широтного простирания, находящихся в дайках гранитпорфиров Березовска; в то же время метаморфические сланцы, в которых эти дайки заключены, слабо водоносны.

Второй водоносный комплекс – докембрийских, кембрийских и ордовикских метаморфических и метаморфизованных толщ – представлен различными сланцами, гнейсами, филлитами, песчаниками, кварцитами и карбонатными породами. Он широко распространен в осевых частях Пай-Хоя, Полярного, Приполярного, Северного, Среднего Урала и Мугоджар. На Южном Урале этот комплекс разделяется на две полосы, расположенные на восток и запад от меридионального отрезка долины р. Урала. Вторым водоносным комплексом характеризуется преобладающим развитием пластово-трещинных, трещинных и, в несколько меньшем объеме, карстово-трещинных вод зон выветривания и трещинно-жильных вод тектонических разломов и трещин. Наиболее водообильны трещиноватые породы в пределах 40–50 м от поверхности.

Породы второго комплекса характеризуются небольшой водоносностью, что подтверждается сравнительно малым дебитом источников – обычно менее 1 и реже от 1 до 5 л/сек. В отдельных случаях трещинно-жильные воды питают источники с дебитом до 12 л/сек (кристаллические сланцы Уфалейско-Карабашского района). Известны источники из кварцитов с дебитом до 10 л/сек. Воды источников пресные гидрокарбонатные кальциевые. Приуроченность отложений этого комплекса к водоразделам создает благоприятную обстановку для питания вод атмосферными осадками, а также обуславливает их перелив в прилегающие более молодые толщи. Ряд пресных источников зафиксирован в хребте Урал-Тау, где они вытекают из трещин в слюдяных кварцитах. Комплекс характеризуется невыдержанностью водоносных горизонтов и зон.

В этом комплексе наиболее водообильны карбонатные породы. Дебит одного из источников, выходящих из доломитов (в Саткинском районе) по р. Малому Бердяшу, был равен 118 л/сек. Известен также источник «Студеный» с дебитом около 4,6 л/сек, вытекающий из доломитов бакальской свиты.

Повышение водообильности карбонатных пород приурочено к зонам дробления и тектоническим швам. Обычно подземные воды в песчано-сланцевых толщах характеризуются более высоким положением уровня. Поэтому при благоприятном сочетании гипсометрических и тектонических условий наблюдается перелив из песчано-сланцевых пород в карбонатные. Породы второго водоносного комплекса хорошо промыты.

Третий водоносный комплекс приурочен к силурийским (готланднн) и девонским глинистым и кремнистым сланцам, песчаникам, мергелям, известнякам и эффузивам и развит

на восточном и западном склонах Урала. Реже этот комплекс встречается в центральных частях; Урала, в ядрах синклинальных складок.

На восточном склоне преобладают эффузивы и распространены терригенные фации девона. На западном склоне широко развиты известняки. Трещинно-карстовые воды известняков дают источники с дебитом от 10 до 200 л/сек и более. Так, на берегу р. Вишеры у д. Усть-Улс известен источник «Меленки», вытекающий из ордовикских доломитов, с дебитом до 953 л/сек. Карстовые воды являются большой помехой и при разработке бокситовых месторождений восточного склона Урала. Дебит источников, вытекающих из толщи песчаников, обычно выражается десятками долями литра в секунду (0,3–0,7 л/сек) и редко повышается до 5 л/сек.

Эффузивы и их туфы не отличаются большой водообильностью. Они дают источники с дебитом от 0,2 до 1 л/сек, изредка до 6 л/сек. Дебиты скважин, вскрывших воды эффузивов, – 0,7–3,7 и до 5 л/сек (эффузивы Тагильского, Свердловского и Челябинского районов).

Четвертый водоносный комплекс приурочен к песчаникам, глинам, сланцам, известнякам, эффузивам и туфам карбона. На западном склоне Урала он широко развит на его окраинах между третьим и пятым водоносными комплексами. Здесь преобладают известняки и отсутствуют изверженные породы. Распространен этот комплекс в бассейне р. Урала, а также на восточных склонах Южного и отчасти Среднего Урала (терригенные и карбонатные породы, эффузивы, туфы). Местами породы этого комплекса встречаются на восточном склоне в северной части Урала.

Четвертый водоносный комплекс характеризуется довольно выдержанными по простиранию водоносными горизонтами, фациально замещающимися на больших расстояниях. Там он встречается совместно с отложениями третьего комплекса и залегает обычно в ядрах синклинальных складок, а третий водоносный комплекс выступает на поверхность в антиклиналях и подстилает четвертый водоносный комплекс в синклиналях (Кизеловский и Чусовской районы, западный склон Среднего Урала). В Кизеловском районе известняки девона и нижнего карбона образуют единый водоносный горизонт и отделены от вышележащих пород относительно водоупорной угленосной свитой.

Гидрогеологически четвертый комплекс сходен с третьим. Песчаники карбона так же маловодообильны, как и девонские; дебит источников 0,1–2 л/сек (Вишерско-Чусовской район). Наиболее обводнены толщи известняков, которые образуют достаточно выдержанные по простиранию водоносные горизонты, питающие крупные источники. В карбонатных породах четвертого водоносного комплекса широко развит карст, особенно в визейских известняках.

В Предуралье водоносные горизонты передовых складок погружаются в область краевого прогиба и из них переливаются в Волго-Камский артезианский бассейн. Частично разгрузка водоносных горизонтов происходит у подножия хребтов или увалов, где наблюдаются источники пресных вод.

На Полярном Урале в карбонатных толщах нижнего и среднего палеозоя, несмотря на наличие многолетней мерзлоты, широко развит карст, который представлен карстовыми воронками в долине р. Елец и на водораздельных пространствах. Диаметры воронок до 25 м, глубина до 8 м. Здесь известны многочисленные источники пресных карстовых вод.

Пятый водоносный комплекс пермских отложений в пределах Урала имеет подчиненное значение. Он развит на западном склоне Урала в ядрах синклиналиных складок передовых хребтов. Основное свое развитие комплекс пермских отложений получил в смежных Волго-Камском и Печорском бассейнах.

Шестой водоносный комплекс мезозойских и третичных отложений в пределах Урала также имеет подчиненное значение и развит преимущественно на его окраинах.

Седьмой водоносный комплекс четвертичных отложений распространен преимущественно по долинам рек и представлен водоносными аллювиальными песками и галечниками. Наряду с аллювиальными отложениями четвертичного возраста встречается и более древний аллювий. Воды аллювиальных отложений с успехом используются для водоснабжения на Полярном Урале, где дебиты выработок, вскрывших аллювиальный водоносный горизонт, достигают 1–5 л/сек, а вода имеет хорошее качество. Воды аллювиальных отложений используются также и в остальных частях Урала.

В Челябинской области большинство населенных пунктов расположено по долинам рек бассейнов Урала и Тобола. Для водоснабжения здесь широко используются грунтовые воды аллювиальных отложений посредством колодцев (Каменский и др., 1959).

Подземный сток. Наиболее постоянным источником питания рек, действующим в течение всего года и обуславливающим годовые и многолетние колебания подземного стока, является основное, или собственно грунтовое, питание совместно с артезианским. Выделение этого вида подземного питания произведено авторами по зимнему минимальному расходу. Последний, как правило, на реках Урала наблюдается в конце зимы, когда лед достиг наибольшей толщины, а потери на ледообразование равны нулю. В это время сток реки равен подземному. Определенное по норме зимнего минимального среднемесячного расхода грунтовое питание для рек Урала составляет 30–80% годовой величины подземного стока. Подземный сток определяется запасами подземных вод и условиями их поступления в русловую сеть. Запасы подземных вод зависят от условий питания, связанных с водным балансом водосборов, и их гидрогеологических особенностей. Величина подземного стока под

влиянием искусственных водоемов – мельничных и заводских прудов, водохранилищ ГЭС, а также забора воды для промышленных предприятий, железнодорожных станций и т. д. – может быть значительно искажена. Поэтому изучение подземного стока и выявление природных факторов его формирования производились по материалам тех водосборов рек, в которых отсутствует искусственная зарегулированность стока или она сказывается весьма слабо (табл. 1).

Таблица 1

Средние многолетние значения модулей суммарного годового, подземного и приведенного к одной площади подземного стока водосборов рек Урала

Водосборы рек	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Модули стока, л/сек·км <sup>2</sup>		
		годовой	подземный	приведенный
Вишера—Рябинино . . . . .	30 800	15,4	3,38	2,70
Колва—Петрецоно . . . . .	3 530	10,0	1,69	1,55
Колва—Подбобька . . . . .	11 900	10,4	1,92	1,48
Яйва—Подслудное . . . . .	5 040	15,1	2,30	2,07
Чусовая—Староутинск . . . . .	5 120	5,94	1,10	0,91
Чусовая—Котчик . . . . .	11 160	6,74	1,01	0,58
Чусовая—Нижнее Шельги . . . . .	23 600	9,63	1,52	1,02
Сулем—Галашки . . . . .	290	8,60	0,69	1,08
Волужка—Шамары . . . . .	1 030	6,20	0,68	0,82
Белая—Арский Камень . . . . .	2 300	6,18	0,76	0,73
Белая—Стерлитамак . . . . .	21 000	5,48	0,88	0,40
Большой Нугуш—Новосейтово . . . . .	390	10,0	1,38	1,79
Большой Инзер—Калышта . . . . .	1 020	9,80	1,48	1,60
Ута—Нязепетровск . . . . .	3 800	5,27	0,47	0,34
Ута—Красноуфимск . . . . .	14 500	6,00	1,37	0,97
Ай—Паклы . . . . .	6 100	6,53	1,32	1,04
Юрюзань—Трапезникова . . . . .	7 000	7,86	1,54	1,23
Сакмара—Акчулово . . . . .	5 560	2,93	0,27	0,17
Большой Ик—Поляковка . . . . .	6 020	7,64	1,24	1,01
Вагран—Североуральск . . . . .	1 380	7,46	0,94	1,02
Сосьва—Тренькино . . . . .	1 260	11,3	1,63	1,74
Сосьва—Денежкино . . . . .	4 480	7,66	1,08	0,88
Сосьва—Новая Пристань . . . . .	10 500	6,10	0,68	0,34
Мугай—Топоркова . . . . .	1 100	4,44	0,13	0,25
Тура—Туринск . . . . .	29 000	3,69	0,47	0,15
Ница—Ирбит . . . . .	17 400	2,82	0,62	0,36
Пышма—Богандиинское . . . . .	18 400	1,46	0,22	0,00
Синара—Верхнее Ключевское . . . . .	6 510	1,23	0,27	0,13
Уй—Степное . . . . .	3 600	1,81	0,08	0,01
Тогузак—станция Тогузак . . . . .	7 970	0,50	0,03	0,00
Тобол—Гришенка . . . . .	13 400	0,86	0,003	0,00
Урал—Наурузово . . . . .	2 410	1,75	0,10	0,07

Анализ материалов показал, что основным фактором формирования подземного стока рек Урала является водный баланс их водосборов. В качестве интегральной характеристики влияния водного баланса может быть принята величина модуля годового стока. На инфильтрацию вод значительное влияние оказывают также уклоны склонов и их длина. Они могут быть представлены в виде обобщенного показателя – величины площади водосбора. Зависимость модуля подземного стока рек Урала от величины среднего годового стока и площади водосбора приведена на рис. 1, из которого видно, что, несмотря на изменение подземного стока от 0 до 4,4 л/сек \* км<sup>2</sup> и кажущуюся неоднородность природных условий, для всей исследуемой территории существует одна закономерность. Она заключается в том,

что величина модуля подземного стока определяется водным балансом и величиной площади водосбора. Аналитически эта зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$M_{\text{подз}} = 0,20 M_0 + 0,42 \lg F - 1,85$$

где  $M_{\text{подз}}$  – модуль подземного стока в л/сек \* км<sup>2</sup>;  $M_0$  – модуль среднего годового стока в л/сек \* км<sup>2</sup>;  $F$  – площадь водосбора в км<sup>2</sup>. Коэффициент корреляции равен  $0,95 \pm 0,01$ . Приведенная формула позволяет по величине среднего годового стока и площади водосбора рассчитать модуль подземного стока, при этом средняя ошибка равна  $\pm 15\%$ . Подсчеты показали, что с увеличением площади водосбора от 2000 до 100 000 км<sup>2</sup> величина  $M_{\text{подз}}$  увеличивается: при  $M_0 = 5$  л/сек \* км<sup>2</sup> в 2,3 раза (от 0,55 до 1,25 л/сек \* км<sup>2</sup>), а при  $M_0 = 10$  л/сек \* км<sup>2</sup> в 1,4 раза (от 1,55 до 2,25 л/сек \* км<sup>2</sup>). Эти данные показывают, что рекомендация использовать карты с изолиниями модуля зимнего минимального среднемесячного стока (Андреев, 1957) необоснованна.

Значительная роль размера площади водосбора в формировании подземного стока не позволяет рекомендовать составление подобных карт без введения поправок на разницу в размерах площади водосбора. Величина этой поправки ( $A$ ) может быть определена по формуле

$$\Delta = M_{\text{подз}} - M_{\text{подз. пр.}} = n (\lg F - 3,30)$$

где  $M_{\text{подз. пр.}}$  – величина модуля подземного стока, приведенная к площади, равной 2000 км<sup>2</sup>;  $n$  – показатель степени при  $F$ , он изменяется от 0,57 до 0,28 (при  $M_0 = 8$  л/сек \* км<sup>2</sup> и более  $n = 0,57$ ; при  $M_0 = 8-4$  л/сек \* км<sup>2</sup>  $n = 0,47$ ; при  $M_0$  менее 4 л/сек \* км<sup>2</sup>  $n = 0,28$ ). На рис. 2 представлено распределение на Урале приведенных значений модуля подземного стока. Оно повторяет картину распределения осадков, испарения и годового стока. Пользуясь изолиниями  $M_{\text{подз. пр.}}$ , можно рассчитать  $M_{\text{подз}}$  для любого водосбора по формуле

$$M_{\text{подз. зон.}} = M_{\text{подз. пр.}} + n (\lg F - 3,30)$$

Для выяснения особенностей влияния на подземный сток местных (автономных) природных факторов по этой формуле был произведен подсчет значений модуля подземного стока. Разница между величинами  $M_{\text{подз. изм.}}$  и  $M_{\text{подз. зон.}}$  выражает степень влияния автономного фактора на подземный сток (табл. 2).

Влияние карста на подземный сток. Одним из важных автономных факторов подземного стока рек Урала является карст. Изучению карста, его влияния на реки отдельных районов Урала посвящен ряд работ (Максимович, 1958, 1963; Максимович, Горбунова, 1958; Соловьев, 1958; Чикишев, 1958; Балков, 1960 и др.). Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что под влиянием карста происходит увеличение  $M_{\text{подз.}}$ . Влияние карста на сток зависит от размера площади водосбора. Чем меньше площадь, тем больше ее закарстованность. Поэтому с уменьшением размеров площади водосборов рек карстовых районов относительное влияние

карста на величину подземного стока возрастает. Так, по данным Г. А. Максимовича (1959, 1962), на участке водосбора р. Колвы между Дивьим и Ветланом при площади 172 км<sup>2</sup> модуль подземного стока составил 15,76 л/сек·км<sup>2</sup>. В районе Коспаша и Гремячинска, по материалам Н. Д. Буданова (1959), при площадях, равных соответственно 62 и 15,3 км<sup>2</sup>, увеличение подземного стока под влиянием карста составило 10–11 л/сек·км<sup>2</sup>.

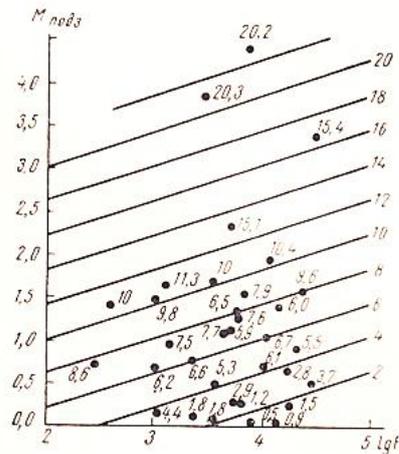


Рис. 1. Зависимость модуля подземного стока ( $M_{\text{подз}}$ ) от величины площади водосбора ( $\lg F$ ) и модуля среднего годового стока ( $M_0$ ) для рек Урала

На Южном Урале в Кизельско-Суундукском районе Магнитогорской карстовой области на участке водосбора р. Янгельки при площади 75 км<sup>2</sup> по материалам трехлетних наблюдений влияние карста составило лишь 1,3 л/сек \* км<sup>2</sup> (Крутов, 1962). В. М. Крутов для этого водосбора приводит и другую величину модуля подземного стока – 5 л/сек. Она была определена им балансово-гидрометрическим методом по материалам первого полугодия 1960 г. Но, однако, для водосбора р. Янгельки величина среднего годового модуля суммарного стока, по К. П. Воскресенскому (1962), составляет не более 3–4 л/сек·км<sup>2</sup>.

Увеличение подземного стока под влиянием карста отмечает также П. В. Молитвин (1962).

Влияние карста на величину подземного стока рек может быть не только положительным, но и отрицательным. Так, по материалам наблюдений на карстовых реках водосборов рек Сосьвы и Ая П. В. Молитвиным (1962) выделены два особых типа – реки с преобладанием потерь стока в карст и реки с частичной потерей стока в карст. Приведенные данные показывают тесную связь подземного стока Урала с физико-географическими факторами и водным балансом. Автономные факторы и, в частности, влияние карста на подземный сток недостаточно изучены. Необходима дальнейшая разработка этого вопроса.

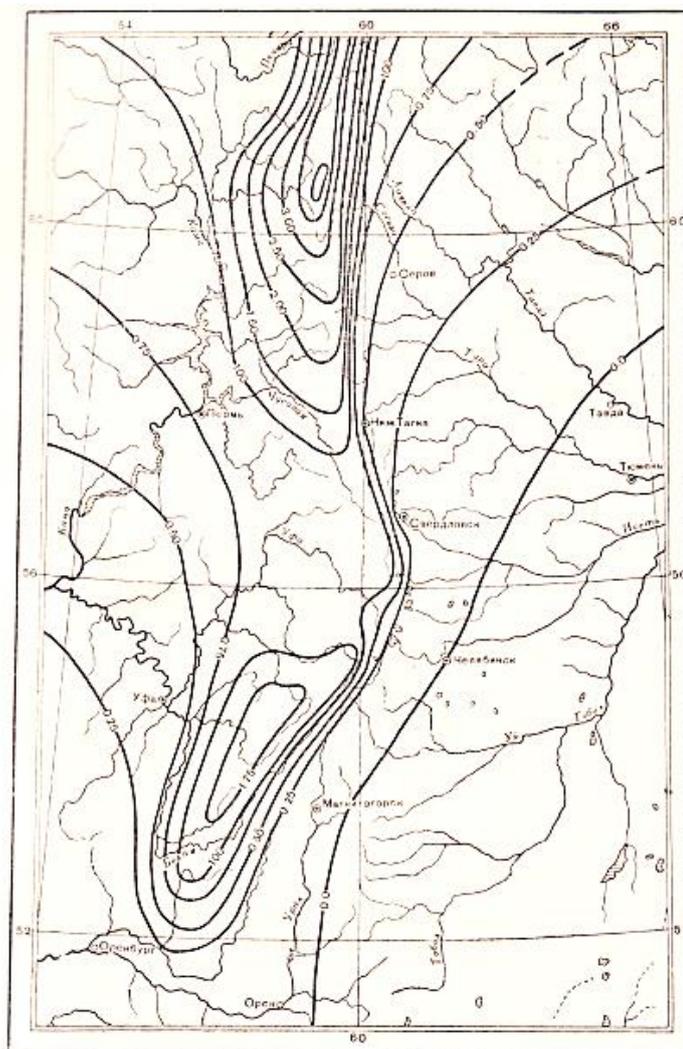


Рис. 2. Подземный сток, приведенный к площади 2000 км<sup>2</sup> (в л/сек.км<sup>2</sup>)

Таблица 2  
Величина влияния карста и древних кристаллических и метаморфических пород на подземный сток рек

Подолеборя рек	Площадь подолебора, км <sup>2</sup>	Измерение модуля подземного стока, л/сек.км <sup>2</sup>	Величина влияния на подземный сток, л/сек.км <sup>2</sup>	
			карста	кристаллических и метаморфических пород
Винера—Митракова . . . . .	9020	5,15	+1,78	—
Кутим—дер. Кутим . . . . .	584	5,92	+2,70	—
Березовая—Болдыря . . . . .	2920	3,91	+1,91	—
Ирень—Шубино . . . . .	5590	2,99	+1,86	—
Тюй—Гумбино . . . . .	2100	3,01	+2,19	—
Сарс-Султанбеково . . . . .	1350	3,08	+2,52	—
Косыда—Троицкое . . . . .	2950	1,36	—	-0,90
Усьва—станция Усьва . . . . .	2200*	1,41	—	-0,67
Вильва—Узкий . . . . .	2930	1,38	—	-0,46
Малый Инзер—Айгир . . . . .	930	1,25	—	-0,38
Юрюзань—Екатериновка . . . . .	1580	1,03	—	-0,51

### ЛИТЕРАТУРА

Андреянов В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. М., Гидрометеиздат, 1957.

- Балков В. А. Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза. «Уч. зап. Пермск. ун-та», т. XIV, вып. 2. Пермь, 1958.
- Балков В. А. Влияние карста на режим стока рек юго-восточной части Пермской области. «Зап. Пермск. отд. Геогр. о-ва СССР», вып. 1. Пермь, 1960.
- Балков В. А. Основные географические закономерности распределения весеннего стока рек Урала. «Изв. Всес. геогр. о-ва», 1962, т. 94, вып. 5.
- Буданов Н. Д. Опыт региональной оценки ресурсов подземных вод на Урале.. «Разв. и охрана недр», 1959, № 12.
- Быков В. Д. Сток рек Урала. Изд-во Моек, ун-та, 1963.
- Великанов М. А. Водный баланс суши. М., 1940.
- Воскресенский К П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1962.
- Гвоздев В. С. Гидрологическое районирование Урала и его границы. В кн.: «Вопр. гидрологии и водного хозяйства». Свердловск, 1958.
- Дубровин Л. И., Матарзин Ю. М., Печеркин И. А. Камское водохранилище. Пермь, 1959.
- Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. «Тр. научн.-иссл. учреждений ГМС», сер. IV, вып. 24. М.-Л., Гидрометеиздат, 1946.
- Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин Н. И. Гидрогеология СССР. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Кеммерих А. О. Сток рек Северного, Полярного и Приполярного Урала. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1959, № 1.
- Крутов В. М. Модуль подземного стока Кизельско-Суондукского района Магнитогорской карстовой области. В кн.: «Гидрогеология и карстование», вып. I. Пермь, 1962.
- Куделин В. И. Новые принципы выделения подземного стока на гидрографе рек. «Докл. АН СССР», 1951, т. 78, № 6.
- Куделин Б. И. Об учете геологических и гидрогеологических условий речных бассейнов при определении подземного питания рек и расчетах водного баланса. «Тр. Всес. совещ. по изуч. и регулированию стока». М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Кузин П. С. Испарение с поверхности суши на территории СССР. «Тр. ГГИ», 1950, вып. 26 (80).
- Кузин П. С. Классификация и гидрологическое районирование СССР. Л., Гидрометеиздат, 1960.
- Куликов Г. И. К вопросу о распределении снежного покрова и весеннего снеготаяния в Пермской области. В кн.: «Вопр. географии и охраны природы Урала», вып. 2–4. Пермь, 1960.

- Львович М. И. Водный баланс суши. «Мат-лы к III съезду Геогр. о-ва СССР». Л., 1959. Макс и м о в и ч Г. А. Районирование карста Урала и Приуралья. «Докл. 4-го Всеуральск. совещ. по физико-геогр. и эконом.-геогр. районированию Урала». Пермь, 1958.
- Максимович Г. А. Основные типы и модуль подземного стока карстовых областей. «Докл. АН СССР», 1959, т. 128, № 5.
- Максимович Г. А. Гидродинамические зоны карстовых вод и основные типы подземного питания. В кн.: «Специальные вопросы карстоведения». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. 1. Пермь, 1963.
- Максимович Г. А., Горбунова К. А. Карст Пермской области. Пермь, 1958.
- Матарзин Ю. М., Шкляев А. С. Гидрологическая характеристика рек бассейна реки Вишеры. «Уч. зап. Пермск. ун-та», 1957, т. XI, вып. 2.
- Молитвин П. В. Методы гидрологических исследований в карстовых районах Северного и Южного Урала и Онего-Северодвинского водораздела. В кн.: «Специальные вопросы карстоведения». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Соколовский Д. Л. Водные ресурсы рек промышленного Урала. Свердловск, 1943.
- Соловьев А. И. Карстовые явления на восточном склоне Южного Урала. В кн.: «Регион, карстоведение». Изд. МОИП, 1958.
- Троицкий В. А. Гидрологическое районирование СССР. М., Изд-во АН СССР, 1948.
- Чикишев А. Г. Карст в бассейне реки Чусовой на западном склоне Среднего Урала. В кн.: «Регион, карстоведение». Изд. МОИП, 1958.
- Чикишев А. Г. Реки и озера Среднего Урала. В кн.: «Вопр. физической географии Урала». Изд. МОИП, 1960.
- Шкляев А. С. Гидрологическое районирование Пермской области. «Докл. 4-го Всеуральск. совещ. по физико-геогр. и эконом.-геогр. районированию Урала», вып. 1. Пермь, 1958.
- Шкляев А. С. Гидрологическое районирование водосбора Камского водохранилища по элементам водного баланса (в пределах Пермской области!). «Мат-лы Всес. совещ. по эксплуатации Камского водохранилища», вып. 2. Пермь, 1959.
- Шкляев А. С., Быкова Л. А. К вопросу о влиянии Уральских гор на распределение атмосферных осадков. В кн.: «Вопр. географии и охраны природы Урала», вып. 2–4. Пермь, 1960.
- Шкляев А. С., Логинова Л. Н., Никулина Т. М. О распределении атмосферных осадков на территории Среднего и Южного Урала. «Мат-лы VI Всеуральск. совещ. по вопр. геогр. и охраны природы Урала». Уфа, 196

## ВОДНЫЙ БАЛАНС И ПОДЗЕМНЫЙ СТОК УРАЛА

*Г. А. Максимович и В. А. Балков*

Всестороннее знание водного баланса, факторов и географических закономерностей распределения его компонентов на территории Урала приобретает все большее значение в связи с быстрым развитием народного хозяйства и возрастающей потребностью в водных ресурсах. В литературе обычно рассматривается водный баланс суши или всей территории СССР (Великанов, 1940; Зайков, 1946; Троицкий, 1948; Кузин, 1950, 1960; Львович, 1959; Воскресенский, 1962 и др.). Для физико-географических регионов, в частности Урала, таких работ почти нет. Можно отметить статью В. С. Гвоздева (1958), в которой сделана попытка уточнить значения отношений, испарения к стоку (коэффициент  $\varphi$ ). Он заменяет величину испарения с поверхности водосборов испарением с водной поверхности. В предложенной схеме гидрологического районирования В. С. Гвоздев не использовал материалы по горной части Урала. Поэтому его схема не отражает влияния рельефа на ход изолиний коэффициента  $\varphi$ .

Водный баланс Пермской области изучен лучше. Для этой территории А. С. Шкляев (1958, 1959) произвел районирование по элементам водного баланса. Используя схему гидрологического районирования В. А. Троицкого (1948), он дает свою схему, включающую гидрологические страны, зоны, провинции, округа и районы.

Имеется и ряд работ, посвященных характеристике отдельных компонентов водного баланса всего Урала (Соколовский, 1943; Шкляев и Быкова, 1960; Чикишев, 1960; Балков, 1962; Быков, 1963) и Пермской области (Матарзин и Шкляев, 1957; Балков, 1958; Дубровин, Матарзин, Печеркин, 1959; Куликов, 1960).

В водном балансе наиболее слабо изучена подземная составляющая общего стока. Между тем знание закономерностей географического распределения подземного стока имеет большое значение, в частности, там, где поверхностный сток слабо развит. Недостаточная изученность подземного стока в значительной степени объясняется трудностями, связанными с его выделением из общего годового.

Не останавливаясь на анализе всех существующих методов выделения подземной составляющей из общего годового стока, отметим, что наиболее совершенным является метод Б. И. Куделина (1951, 1954). Последний основан на учете гидрогеологических условий водосборов. Однако метод Б. И. Куделина применим в основном к водосборам рек равнинного типа, где подземный сток находится в гидравлической связи с рекой. Горные и полугорные реки Урала, для которых чаще гид-

равлической связи лет, этот метод, по-видимому, не будет иметь преимуществ перед другими. Широкому применению метода Б. И. Куделина препятствует и отсутствие достаточной сети наблюдательных пунктов над режимом подземных вод долин рек, а также сложность и громоздкость расчетов.

Вследствие малой пригодности существующих методов для расчета подземного стока авторы ограничились выделением основного, или собственно грунтового, и артезианского питания рек Урала. Оно обусловлено грунтовыми водами, дренируемыми речной долиной, и водами нисходящих источников постоянного действия.

Рассмотрим основные особенности формирования водного баланса и связанного с ним подземного стока Урала.

Подсчет водного баланса и его компонентов выполнен по средним годовым суммам атмосферных осадков за период с 1891 по 1958 г. (68 лет) и среднему годовому стоку, приведенному к периоду более 50 лет (Воскресенский, 1962). Испарение с поверхности водосборов рек определялось как разность между величинами осадков и стока. Расчеты и анализ указанных материалов производились авторами с помощью атмосферных карт осадков, стока и испарения, составленных для территории Среднего и Южного Урала.

**Атмосферные осадки.** Широтная зональность в распределении атмосферных осадков, характерная для Русской равнины и Западно-Сибирской низменности, под влиянием Уральских гор, их высоты и повышенной шероховатости склонов, сменяется вертикальной поясностью. В Предуралье и Зауралье изогипсы приобретают меридиональное расположение, почти симметрично огибая с юга наиболее высокие части Среднего, а также Южного Урала. Эти районы отличаются наибольшим количеством осадков: на Южном Урале — 600—630 мм, на Среднем — 800—860 мм. В пониженной части Среднего Урала их количество уменьшается до 500—530 мм.

В Предуралье количество осадков увеличивается с юга на север от 350 до 550 мм, а в Зауралье — от 300 до 500 мм. В Зауралье под влиянием Уральских гор снижение величины осадков составляет около 50 мм. Таким образом, распределение осадков повторяет картину изменения высот. Характерно, что районы максимумов осадков несколько смещены к западу от уральского водораздела. Это связано, по-видимому, с влиянием шероховатости наветренного западного склона Уральского хребта. Изменение осадков на каждые 100 м высоты на западном склоне составляет 63—71 мм и на восточном 49—50 мм (Шкляев, Логинова, Никулина, 1961).

**Испарение с поверхности водосборов рек.** Для оценки величины среднего годового стока гидрологически не изученных водосборов рек наряду с осадками, их распределением по территории необходимо знать еще и величину годового испарения с поверхности водосборов. Однако составленная П. С. Кузиным (1950) мелко-масштабная карта испарения с территории СССР отличается большой схематичностью. Поскольку опубликованная В. А. Троицким (1948) более подробная карта испарения также не лишена отмеченного недостатка, это побудило авторов составить карту испарения с поверхности водосбора рек Урала в масштабе 1 : 4 000 000. Были использованы материалы средних многолетних сумм осадков и значения стока водосборов 70 рек.

Осадки и радиационный баланс являются основными факторами, определяющими испарение с поверхности водосборов и распределение его значений по территории. Величина радиационного баланса на Урале

уменьшается с юга на север и от равнин к горам. В том же направлении уменьшается и величина испарения. На крайнем юге Урала, несмотря на увеличение радиационного баланса, испарение уменьшается, что связано с уменьшением количества осадков.

**Сток.** Распределение стока на Урале зависит от климатических условий и особенностей подстилающей поверхности. Влияние тех и других на сток осуществляется через осадки и испарение.

Картина распределения стока в значительной степени повторяет распределение осадков. По данным К. П. Воскресенского (1962), с юга на север величина стока увеличивается в Предуралье от 3 до 9, в Зауралье — от 1 до 8 л/сек · км<sup>2</sup>. Районы максимального стока на Среднем и Южном Урале совпадают с территориями наибольших значений осадков и наименьшего испарения. Вместе с тем в Зауралье величина стока убывает более резко, чем осадки. Уменьшение стока объясняется более значительным расходом влаги на испарение вследствие повышенной озерности и заболоченности. Так, по данным П. С. Кузина (1960), испарение с заболоченных пространств Западной Сибири, даже при несколько меньших значениях годовых осадков и радиационного баланса, превышает на 100—120 мм в год испарение в европейской части СССР.

Распределение среднего годового стока на территории Урала зависит от целого ряда физико-географических особенностей: средней высоты водосборов рек (Кеммерих, 1959; Быков, 1963), экспозиции, высоты водораздельных хребтов, их расположения на водосборе относительно преобладающего направления влажных воздушных потоков. Все эти особенности наряду с осадками и испарением необходимо учитывать при расчетах нормы годового стока для водосборов неизученных рек.

**Соотношение испарения и стока.** При гидрологическом районировании большое значение имеет изучение закономерностей географического распределения отношения  $\frac{Z}{Y}$  или  $\phi$  (Шкляев, 1958, 1959; Гвоздев, 1958).

Результаты анализа значений отношения испарения с поверхности водосборов к стоку  $\phi$  дают основание считать, что эти значения на Урале уменьшаются с юга на север и от равнины к горам, что не нашло отражения в работе В. С. Гвоздева (1958).

Распределение коэффициента  $\phi$  характеризуется быстрым возрастанием его значений в Зауралье до 15—20. Это, как было указано ранее, объясняется увеличением испарения и уменьшением величины стока в этом районе.

**Подземные воды Урала.** На водный баланс и подземный сток рек существенное влияние оказывают гидрогеологические особенности водосборов. Поэтому, прежде чем перейти к анализу материалов по подземному стоку, рассмотрим гидрогеологические условия его формирования.

В пределах Уральской складчатой области можно выделить следующие основные водоносные комплексы пород.

Первый водоносный комплекс — трещинных вод массивно-кристаллических интрузивных пород — развит по преимуществу на восточном склоне Урала и характеризуется неоднородной водоносностью пород. Дебиты источников, вытекающих из гранитов, чаще всего составляют от 0,3 до 5 л/сек, изредка более значительные (до 25 л/сек). Дебиты некоторых скважин, вскрывших воды в гранитах, — до 10 л/сек. Особенно водообильны зоны дизъюнктивной трещиноватости гранитов и гранодиоритов. Наиболее значительные притоки вод были получены сква-

жинами, вскрытыми зоны тектонических трещин широтного простирания (Южный Урал, Вишневые Горы).

Дебиты источников из ультраосновных пород в змеевиках достигают 1,5—2 л/сек. В дунитах на глубине до 500 м отмечаются и безводные зоны. Наиболее существенное значение приобретают при этом жильные подземные воды в трещинах и зонах дробления пород. Режим источников непостоянен.

Водоносные трещиноватые зоны в ультраосновных и основных породах возникают в связи с метаморфизацией пород и превращением их в серпентиниты. Такие зоны имеют практическое значение. Так, в серпентинитовом массиве в окрестностях г. Серова получены значительные количества хорошей воды, используемой для водоснабжения. Большие притоки вод были зафиксированы на Ключевском руднике. Некоторые заводы на Среднем Урале снабжаются водой подобных трещиноватых зон.

В Челябинской области вдоль серпентинизированных массивов наблюдаются зоны разломов верхнемелового, верхнетретичного и раннечетвертичного возраста со значительной обводненностью.

Необходимо отметить довольно большую обводненность трещин кварцевых жил широтного простирания, находящихся в дайках гранитпорфиров Березовска; в то же время метаморфические сланцы, в которых эти дайки заключены, слабо водоносны.

Второй водоносный комплекс — докембрийских, кембрийских и ордовикских метаморфических и метаморфизованных толщ — представлен различными сланцами, гнейсами, филлитами, песчаниками, кварцитами и карбонатными породами. Он широко распространен в осевых частях Пай-Хоя, Полярного, Приполярного, Северного, Среднего Урала и Муроджар. На Южном Урале этот комплекс разделяется на две полосы, расположенные на восток и запад от меридионального отрезка долины р. Урала. Второй водоносный комплекс характеризуется преобладающим развитием пластово-трещинных, трещинных и, в несколько меньшем объеме, карстово-трещинных вод зон выветривания и трещино-жильных вод тектонических разломов и трещин. Наиболее водообильны трещиноватые породы в пределах 40—50 м от поверхности.

Породы второго комплекса характеризуются небольшой водоносностью, что подтверждается сравнительно малым дебитом источников — обычно менее 1 и реже от 1 до 5 л/сек. В отдельных случаях трещино-жильные воды питают источники с дебитом до 12 л/сек (кристаллические сланцы Уфалейско-Карабашского района). Известны источники из кварцитов с дебитом до 10 л/сек. Воды источников пресные гидрокарбонатные кальциевые. Приуроченность отложений этого комплекса к водоразделам создает благоприятную обстановку для питания вод атмосферными осадками, а также обуславливает их перелив в прилегающие более молодые толщи. Ряд пресных источников зафиксирован в хребте Урал-Тау, где они вытекают из трещин в слюдяных кварцитах. Комплекс характеризуется невыдержанностью водоносных горизонтов и зон.

В этом комплексе наиболее водообильны карбонатные породы. Дебит одного из источников, выходящих из доломитов (в Саткинском районе) по р. Малому Бердяшу, был равен 118 л/сек. Известен также источник «Студеный» с дебитом около 4,6 л/сек, вытекающий из доломитов бакальской свиты.

Повышение водообильности карбонатных пород приурочено к зонам дробления и тектоническим швам. Обычно подземные воды в песчано-сланцевых толщах характеризуются более высоким положением

уровня, поэтому при благоприятном сочетании гипсометрических и тектонических условий наблюдается перелив из песчано-сланцевых пород в карбонатные. Породы второго водоносного комплекса хорошо проницаемы.

Третий водоносный комплекс приурочен к силурийским (голландия) и девонским глинистым и кремнистым сланцам, песчанникам, мергелю, известнякам и эффузивам и развит на восточном и западном склонах Урала. Реже этот комплекс встречается в центральных частях Урала, в ядрах синклиналильных складок.

На восточном склоне преобладают эффузивы и распространены терригенные фашии девона. На западном склоне широко развиты известняки. Трещинно-карстовые воды известняков дают источники с дебитом от 10 до 200 л/сек и более. Так, на берегу р. Вишеры у д. Усть-Улас известен источник «Меденки», вытекающий из ордовикских доломитов, с дебитом до 953 л/сек. Карстовые воды являются большой помехой при разработке бокситовых месторождений восточного склона Урала. Дебит источников, вытекающих из толщ песчанников, обычно выражается десятками долями литра в секунду (0,3—0,7 л/сек) и редко повышается до 5 л/сек.

Эффузивы и их туфы не отличаются большой водообильностью. Они дают источники с дебитом от 0,2 до 1 л/сек, изредка до 6 л/сек. Дебиты скважин, вскрывших воды эффузивов,— 0,7—3,7 и до 5 л/сек (эффузивы Тагильского, Свердловского и Челябинского районов).

Четвертый водоносный комплекс приурочен к песчанникам, глинам, сланцам, известнякам, эффузивам и туфам карбона. На западном склоне Урала он широко развит на его окраинах между третьим и пятым водоносными комплексами. Здесь преобладают известняки и отсутствуют изверженные породы. Распространен этот комплекс в бассейне р. Урала, а также на восточных склонах Южного и отчасти Среднего Урала (терригенные и карбонатные породы, эффузивы, туфы). Местами породы этого комплекса встречаются на восточном склоне в северной части Урала.

Четвертый водоносный комплекс характеризуется довольно выдержанными по простиранию водоносными горизонтами, фациально замещающимися на больших расстояниях. Там он встречается совместно с отложениями третьего комплекса и залегает обычно в ядрах синклиналильных складок, а третий водоносный комплекс выступает на поверхность в антиклиналях и подстилает четвертый водоносный комплекс в синклиналиях (Кизеловский и Чусовской районы, западный склон Среднего Урала). В Кизеловском районе известняки девона и нижнего карбона образуют единый водоносный горизонт и отделены от вышележащих пород относительно водоупорной угленосной свитой.

Гидрогеологически четвертый комплекс сходен с третьим. Песчанники карбона так же маловодообильны, как и девонские: дебит источников 0,1—2 л/сек (Вишерско-Чусовской район). Наиболее обводнены толщи известняков, которые образуют достаточно выдержанные по простиранию водоносные горизонты, питающие крупные источники. В карбонатных породах четвертого водоносного комплекса широко развит карст, особенно в визейских известняках.

В Предуралье водоносные горизонты передовых складок погружаются в область краевого прогиба и из них переливаются в Волго-Камский артезианский бассейн. Частично разгрузка водоносных горизонтов происходит у подножия хребтов или увалов, где наблюдаются источники пресных вод.

На Полярном Урале в карбонатных толщах нижнего и среднего

палеозоя, несмотря на наличие многолетней мерзлоты, широко развит карст, который представлен карстовыми воронками в долине р. Елеца и на водораздельных пространствах. Диаметры воронок до 25 м, глубина до 8 м. Здесь известны многочисленные источники пресных карстовых вод.

Пятый водоносный комплекс пермских отложений в пределах Урала имеет подчиненное значение. Он развит на западном склоне Урала в ядрах синклиналиных складок передовых хребтов. Основное свое развитие комплекс пермских отложений получил в смежных Волго-Камском и Печорском бассейнах.

Шестой водоносный комплекс мезозойских и третичных отложений в пределах Урала также имеет подчиненное значение и развит преимущественно на его окраинах.

Седьмой водоносный комплекс четвертичных отложений распространен преимущественно по долинам рек и представлен водоносными аллювиальными песками и галечниками. Наряду с аллювиальными отложениями четвертичного возраста встречается и более древний аллювий. Воды аллювиальных отложений с успехом используются для водоснабжения на Полярном Урале, где дебиты выработок, вскрывших аллювиальный водоносный горизонт, достигают 1—5 л/сек, а вода имеет хорошее качество. Воды аллювиальных отложений используются также и в остальных частях Урала.

В Челябинской области большинство населенных пунктов расположено по долинам рек бассейнов Урала и Тобола. Для водоснабжения здесь широко используются грунтовые воды аллювиальных отложений посредством колодцев (Каменский и др., 1959).

**Подземный сток.** Наиболее постоянным источником питания рек, действующим в течение всего года и обуславливающим годовые и многолетние колебания подземного стока, является основное, или собственно грунтовое, питание совместно с артезианским. Выделение этого вида подземного питания произведено авторами по зимнему минимальному расходу. Последний, как правило, на реках Урала наблюдается в конце зимы, когда лед достиг наибольшей толщины, а потери на деодообразование равны нулю. В это время сток реки равен подземному. Определенное по норме зимнего минимального среднемесячного расхода грунтовое питание для рек Урала составляет 30—80% годовой величины подземного стока.

Подземный сток определяется запасами подземных вод и условиями их поступления в русловую сеть. Запасы подземных вод зависят от условий питания, связанных с водным балансом водосборов, и их гидрогеологических особенностей. Величина подземного стока под влиянием искусственных водоемов — мельничных и заводских прудов, водохранилищ ГЭС, а также забора воды для промышленных предприятий, железнодорожных станций и т. д. — может быть значительно искажена. Поэтому изучение подземного стока и выявление природных факторов его формирования производились по материалам тех водосборов рек, в которых отсутствует искусственная зарегулированность стока или она сказывается весьма слабо (табл. 1).

Анализ материалов показал, что основным фактором формирования подземного стока рек Урала является водный баланс их водосборов. В качестве интегральной характеристики влияния водного баланса может быть принята величина модуля годового стока. На инфильтрацию вод значительное влияние оказывают также уклоны склонов и их длина. Они могут быть представлены в виде обобщенного показателя — величины площади водосбора. Зависимость модуля подземного стока

Таблица 1

Средние многолетние значения модулей суммарного годового, подземного и приведенного к одной площади подземного стока водосборов рек Урала

Водосборы рек	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Модули стока, л/сек·км <sup>2</sup>		
		годовой	подземный	приведенный
Вишера—Рибенное	30 800	15,4	3,38	2,70
Колпа—Петрецово	3 530	10,0	1,69	1,55
Колпа—Подобояла	11 900	10,4	1,92	1,48
Яйва—Послуздное	5 040	15,1	2,30	2,07
Чусовая—Старотинск	5 120	5,94	1,10	0,91
Чусовая—Котлов	11 160	6,74	1,01	0,58
Чусовая—Нижнее Шельми	23 600	9,63	1,52	1,02
Судом—Галакти	290	8,60	0,69	1,08
Вотула—Шамары	1 030	6,20	0,68	0,82
Белая—Арсский Камень	2 300	6,18	0,76	0,73
Белая—Стерлитамак	21 000	5,48	0,88	0,40
Большой Нугуш—Новошейтово	390	10,0	1,38	1,79
Большой Инзер—Казышта	1 020	9,80	1,48	1,60
Уфа—Нижнегорск	3 800	5,27	0,47	0,34
Уфа—Красноуфимск	14 500	6,00	1,37	0,97
Аб—Ташлы	6 100	6,53	1,32	1,04
Юрматы—Трапезниково	7 000	7,86	1,54	1,23
Сакмары—Акчолово	5 560	2,93	0,27	0,17
Большой Ик—Полковника	6 020	7,64	1,24	1,01
Вагран—Североуральск	1 380	7,46	0,94	1,02
Сосны—Третьяково	1 260	11,3	1,63	1,74
Сосны—Денежково	4 480	7,66	1,08	0,88
Сосны—Новая Пристань	10 500	6,10	0,68	0,34
Мугай—Топорина	1 100	4,44	0,13	0,25
Тура—Туринск	29 000	3,69	0,47	0,15
Низа—Ирбит	17 400	2,82	0,62	0,36
Пышма—Богдановское	18 400	1,46	0,22	0,00
Спидар—Верхнее Ключевское	6 510	1,23	0,27	0,13
Уй—Степное	3 600	1,81	0,08	0,01
Тогузак—станция Тогузак	7 970	0,50	0,03	0,00
Тобол—Тривенька	13 400	0,86	0,003	0,00
Урал—Наурузово	2 410	1,75	0,10	0,07

рек Урала от величины среднего годового стока и площади водосбора приведена на рис. 1, из которого видно, что, несмотря на изменение подземного стока от 0 до 4,4 л/сек·км<sup>2</sup> и кажущуюся неоднородность природных условий, для всей исследуемой территории существует одна закономерность. Она заключается в том, что величина модуля подземного стока определяется водным балансом и величиной площади водосбора. Аналитически эта зависимость может быть представлена в следующем виде:

$$M_{\text{подз}} = 0,20 M_0 + 0,42 \lg F - 1,85,$$

где  $M_{\text{подз}}$  — модуль подземного стока в л/сек·км<sup>2</sup>;  $M_0$  — модуль среднего годового стока в л/сек·км<sup>2</sup>;  $F$  — площадь водосбора в км<sup>2</sup>. Коэффициент корреляции равен  $0,95 \pm 0,01$ .

Приведенная формула позволяет по величине среднего годового стока и площади водосбора рассчитать модуль подземного стока, при этом средняя ошибка равна  $\pm 15\%$ .

Подсчеты показали, что с увеличением площади водосбора от 2000 до 100 000 км<sup>2</sup> величина  $M_{\text{подз}}$  увеличивается: при  $M_0 = 5$  л/сек·км<sup>2</sup> в 2,3 раза (от 0,55 до 1,25 л/сек·км<sup>2</sup>), а при  $M_0 = 10$  л/сек·км<sup>2</sup> в 1,4 раза (от 1,55 до 2,25 л/сек·км<sup>2</sup>). Эти данные показывают, что рекомендо-

дация использовать карты с изолиниями модуля зимнего минимального среднемесячного стока (Андреянов, 1957) необоснована.

Значительная роль размера площади водосбора в формировании подземного стока не позволяет рекомендовать составление подобных карт без введения поправки на разницу в размерах площади водосбора. Величина этой поправки ( $\Delta$ ) может быть определена по формуле

$$\Delta = M_{\text{подз}} - M_{\text{подз пр.}} = n (\lg F - 3,30),$$

где  $M_{\text{подз пр.}}$  — величина модуля подземного стока, приведенная к площади, равной  $2000 \text{ км}^2$ ;  $n$  — показатель степени при  $F$ , он изменяется от 0,57 до 0,28 (при  $M_0 = 8 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$  и более  $n = 0,57$ ; при  $M_0 = 8-4 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$   $n = 0,47$ ; при  $M_0$  менее  $4 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$   $n = 0,28$ ).

На рис. 2 представлено распределение на Урале приведенных значений модуля подземного стока. Оно повторяет картину распределения осадков, испарения и годового стока. Пользуясь изолиниями  $M_{\text{подз пр.}}$  можно рассчитать  $M_{\text{подз}}$  для любого водосбора по формуле

$$M_{\text{подз зон}} = M_{\text{подз пр.}} + n (\lg F - 3,30).$$

Для выяснения особенностей влияния на подземный сток местных (автономных) природных факторов по этой формуле был произведен подсчет значений модуля подземного стока. Разница между величинами  $M_{\text{подз}} \text{ изм.}$  и  $M_{\text{подз зон}}$  выражает степень влияния автономного фактора на подземный сток (табл. 2).

Влияние карста на подземный сток. Одним из важных автономных факторов подземного стока рек Урала является карст. Изучению карста, его влияния на реки отдельных районов Урала посвящен ряд работ (Максимович, 1958, 1963; Максимович, Горбунова, 1958; Соловьев, 1958; Чикишев, 1958; Балков, 1960 и др.). Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что под влиянием карста происходит увеличение  $M_{\text{подз}}$ . Влияние карста на сток зависит от размера площади водосбора. Чем меньше площадь, тем больше ее закарстованность. Поэтому с уменьшением размеров площади водосборов рек карстовых районов относительное влияние карста на величину подземного стока возрастает. Так, по данным Г. А. Максимовича (1959, 1962), на участке водосбора р. Колвы между Дивьим и Ветланом при площади  $172 \text{ км}^2$  модуль подземного стока составил  $15,76 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$ . В районе Коспаша и Гремячинска, по материалам Н. Д. Будагова (1959), при

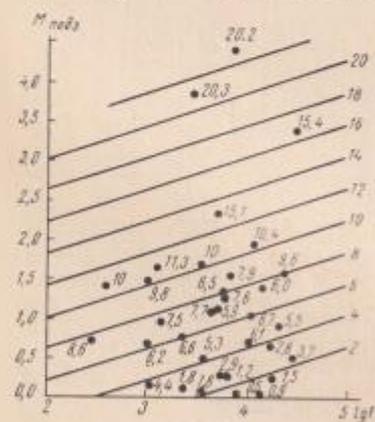


Рис. 1. Зависимость модуля подземного стока ( $M_{\text{подз}}$ ) от величины площади водосбора ( $\lg F$ ) и модуля среднего годового стока ( $M_0$ ) для рек Урала

площадах, равных соответственно  $62$  и  $15,3 \text{ км}^2$ , увеличение подземного стока под влиянием карста составило  $10-11 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$ .

На Южном Урале в Кизельско-Суундукском районе Магнитогорской карстовой области на участке водосбора р. Янгельки при площади

ла посвящен ряд работ (Максимович, 1958, 1963; Максимович, Горбунова, 1958; Соловьев, 1958; Чикишев, 1958; Балков, 1960 и др.). Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что под влиянием карста происходит увеличение  $M_{\text{подз}}$ . Влияние карста на сток зависит от размера площади водосбора. Чем меньше площадь, тем больше ее закарстованность. Поэтому с уменьшением размеров площади водосборов рек карстовых районов относительное влияние карста на величину подземного стока возрастает. Так, по данным Г. А. Максимовича (1959, 1962), на участке водосбора р. Колвы между Дивьим и Ветланом при площади  $172 \text{ км}^2$  модуль подземного стока составил  $15,76 \text{ л/сек} \cdot \text{км}^2$ . В районе Коспаша и Гремячинска, по материалам Н. Д. Будагова (1959), при

75 км<sup>2</sup> по материалам трехлетних наблюдений влияние карста составило лишь 1,3 л/сек·км<sup>2</sup> (Крутов, 1962). В. М. Крутов для этого водосбора приводит и другую величину модуля подземного стока — 5 л/сек. Она была определена им балансово-гидрометрическим методом по материалам первого полугодия 1960 г. Но, однако, для водосбора р. Янгельки величина среднего годового модуля суммарного стока, по К. П. Воскресенскому (1962), составляет не более 3—4 л/сек·км<sup>2</sup>.

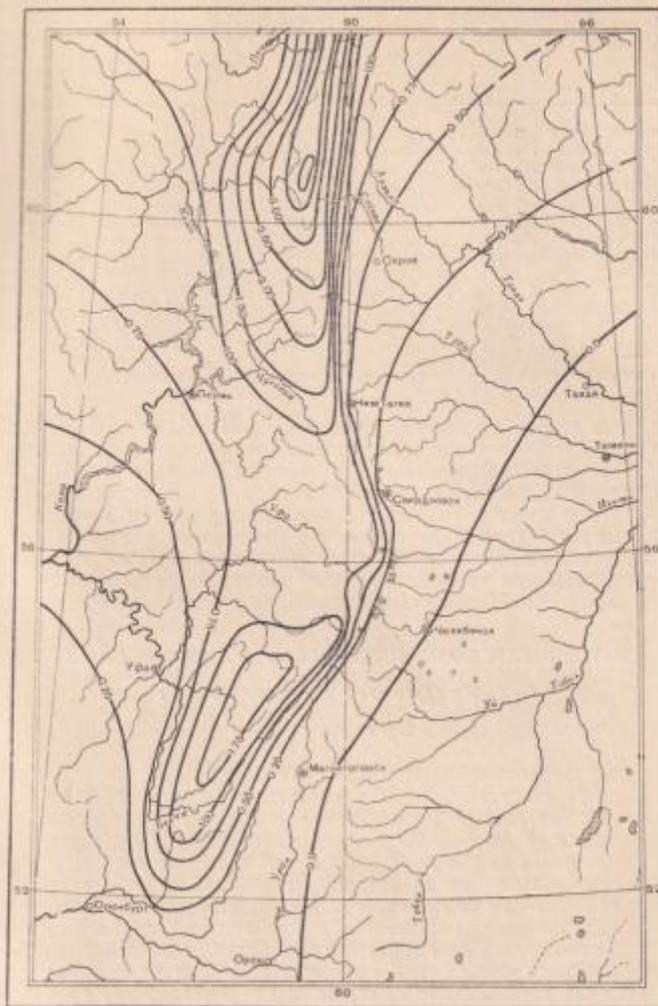


Рис. 2. Подземный сток, приведенный к площади 2000 км<sup>2</sup> (в л/сек·км<sup>2</sup>)

Увеличение подземного стока под влиянием карста отмечает также П. В. Молитвин (1962).

Таблица 2  
Величина влияния карста и древних кристаллических и метаморфических пород на подземный сток рек

Водосборная река	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Измеренно модуль подземного стока, л/сек-км <sup>2</sup>	Величина влияния на подземный сток, л/сек-км <sup>2</sup>	
			карста	кристаллических и метаморфических пород
Визера—Митрахова . . . . .	9020	5,15	+1,78	—
Кутим—дер. Кутим . . . . .	504	5,92	+2,70	—
Березовая—Болдырья . . . . .	2920	3,91	+1,91	—
Ирень—Шубино . . . . .	5590	2,99	+1,86	—
Тюй—Гумбыно . . . . .	2100	3,01	+2,19	—
Сарс-Султанбеково . . . . .	1350	3,08	+2,52	—
Косыла—Троицкое . . . . .	2950	1,36	—	-0,90
Усьда—станция Усьда . . . . .	2200*	1,41	—	-0,67
Вильда—Узкий . . . . .	2930	1,38	—	-0,46
Малый Изер—Алтер . . . . .	930	1,25	—	-0,33
Юрюзань—Екатериновка . . . . .	1580	1,03	—	-0,51

\* Карст имеется, но закарстованная площадь на водосборе невелика.

Влияние карста на величину подземного стока рек может быть не только положительным, но и отрицательным. Так, по материалам наблюдений на карстовых реках водосборов рек Сосьвы и Ая П. В. Молитвиным (1962) выделены два особых типа — реки с преобладанием потерь стока в карст и реки с частичной потерей стока в карст.

Приведенные данные показывают тесную связь подземного стока Урала с физико-географическими факторами и водным балансом. Автономные факторы и, в частности, влияние карста на подземный сток недостаточно изучены. Необходима дальнейшая разработка этого вопроса.

#### WATER BALANCE AND SUBSURFACE FLOW OF THE URALS

G. A. Maximovich and V. A. Balkov

#### Summary

The water balance subsurface flow of territories is an important problem of physical geography. An attempt is made to approach it by using long-term average data on the example of the rivers of the Urals.

An analysis of data on the water balance and the hydrogeology of the Urals permitted the authors to reveal the basic regularity of the formation and distribution of the subterranean flow on its territory. This regularity consists in the value of the subterranean discharge being determined by the water balance of the territory and by the dimensions of the catchment area. This regularity can be used in quantitative estimates of the influence exerted on the subterranean flow by such factors as for instance the predominance of crystalline and metamorphic rocks of low permeability, sandy deposits, karst development and water management arrangements.

Karst is the most important local natural factor affecting subterraneous flow. Its effect increases with decreasing catchment area. This influence may be beneficial or adverse, or neutral.

The quantitative indexes characterising the role of the various factors in the formation of the subterraneous flow can be used in more profound studies of the water balance of territories and in estimates of the changes of river discharge produced by the economic activity of man.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. М., Гидрометеоиздат, 1957.
- Балков В. А. Исследование весеннего стока рек водосбора Пермского водохранилища для целей прогноза. «Уч. зап. Пермск. ун-та», т. XIV, вып. 2, Пермь, 1958.
- Балков В. А. Влияние карста на режим стока рек юго-восточной части Пермской области. «Зап. Пермск. отд. Геогр. о-ва СССР», вып. 1, Пермь, 1960.
- Балков В. А. Основные географические закономерности распределения весеннего стока рек Урала. «Изв. Всес. геогр. о-ва», 1962, т. 94, вып. 5.
- Будянов Н. Д. Опыт региональной оценки ресурсов подземных вод на Урале. «Разв. и охрана недр», 1959, № 12.
- Быков В. Д. Сток рек Урала. Изд-во Моск. ун-та, 1963.
- Великий М. А. Водный баланс суши. М., 1940.
- Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л., Гидрометеоиздат, 1962.
- Гвоздев В. С. Гидрологическое районирование Урала и его границы. В кн.: «Вопр. гидрологии и водного хозяйства». Свердловск, 1958.
- Дубовик Л. И., Матарзин Ю. М., Печеркин И. А. Камское водохранилище. Пермь, 1959.
- Зайнов В. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. «Тр. науч.-иссл. учреждений ГМС», сер. IV, вып. 24. М.-Л., Гидрометеоиздат, 1946.
- Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин И. И. Гидрогеология СССР. М., Гостехиздат, 1959.
- Кеммерих А. О. Сток рек Северного, Полярного и Приполярного Урала. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1959, № 1.
- Крутов В. М. Модуль подземного стока Кизельско-Суундукского района Магнитогорской карстовой области. В кн.: «Гидрогеология и карстоведение», вып. 1, Пермь, 1962.
- Куделин В. И. Новые принципы выделения подземного стока на гидрографе рек. «Докл. АН СССР», 1951, т. 78, № 6.
- Куделин В. И. Об учете геологических и гидрогеологических условий речных бассейнов при определении подземного питания рек и расчетах водного баланса. «Тр. Всес. совещ. по изуч. и регулированию стока», М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Кулик П. С. Испарение с поверхности суши на территории СССР. «Тр. ГГИ», 1950, вып. 26 (80).
- Кулик П. С. Классификация и гидрологическое районирование СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
- Куделин Г. И. К вопросу о распределении снежного покрова и весеннего снеготаяния в Пермской области. В кн.: «Вопр. географии и охраны природы Урала», вып. 2-4, Пермь, 1960.
- Львович М. И. Водный баланс суши. «Мат-лы к III съезду Геогр. о-ва СССР», Л., 1959.
- Максимович Г. А. Районирование карста Урала и Приуралья. «Докл. 4-го Всес. Уральск. совещ. по физико-геогр. и эконом.-геогр. районированию Урала», Пермь, 1958.
- Максимович Г. А. Основные типы и модуль подземного стока карстовых областей. «Докл. АН СССР», 1959, т. 128, № 5.
- Максимович Г. А. Гидродинамические зоны карстовых вод и основные типы подземного питания. В кн.: «Специальные вопросы карстоведения», М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. 1. Пермь, 1963.
- Максимович Г. А., Горбунова К. А. Карст Пермской области. Пермь, 1958.
- Матарзин Ю. М., Шкляев А. С. Гидрологическая характеристика рек бассейна реки Вишеры. «Уч. зап. Пермск. ун-та», 1957, т. XI, вып. 2.

- Молитвин П. В. Методы гидрологических исследований в карстовых районах Северного и Южного Урала и Онего-Северодвинского подораздела. В кн.: «Специальные вопросы карстоведения», М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Соколовский Д. Л. Водные ресурсы рек промышленного Урала, Свердловск, 1943.
- Соловьев А. И. Карстовые явления на восточном склоне Южного Урала. В кн.: «Регион. карстоведение», Изд. МОИП, 1958.
- Троицкий В. А. Гидрологическое районирование СССР. М., Изд-во АН СССР, 1948.
- Чикишев А. Г. Карст в бассейне реки Чусовой на западном склоне Среднего Урала. В кн.: «Регион. карстоведение», Изд. МОИП, 1958.
- Чикишев А. Г. Реки и озера Среднего Урала. В кн.: «Вопр. физической географии Урала», Изд. МОИП, 1960.
- Шкляев А. С. Гидрологическое районирование Пермской области. «Докл. 4-го Всес. Уральск. совещ. по физико-геогр. и эконом.-геогр. районированию Урала», вып. 1, Пермь, 1958.
- Шкляев А. С. Гидрологическое районирование водосбора Камского водохранилища по элементам водного баланса (в пределах Пермской области). «Мат-лы Всес. совещ. по эксплуатации Камского водохранилища», вып. 2, Пермь, 1959.
- Шкляев А. С., Быкова Л. А. К вопросу о влиянии Уральских гор на распределение атмосферных осадков. В кн.: «Вопр. географии и охраны природы Урала», вып. 2-4, Пермь, 1960.
- Шкляев А. С., Логинова Л. Н., Никулина Т. М. О распределении атмосферных осадков на территории Среднего и Южного Урала. «Мат-лы VI Всес. Уральск. совещ. по вопр. геогр. и охраны природы Урала», Уфа, 1961.