

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ

УДК 556.332.62:556.168(282.256.86)

АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ВОДНОГО СТОКА
РЕКИ КОЛЫМЫ В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ

В.Е. Глотов, Л.П. Глотова, М.В. Ушаков*

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия, geoecol@neisri.ru

*Колымское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
685000, Магадан, ул. Гагарина, 12, Россия

Впервые описаны аномальные изменения режима водного стока в зимнюю межень. Аномалии проявляются в том, что расходы воды в русле в отдельные годы в нижнем по течению створе меньше, чем в верхнем. Эта разность стоков превышает затраты воды на образование ледового покрова, в том числе наледей. Сделан вывод, что потери стока связаны с современными объемными расширениями–сжатиями пространства подруслового сквозного талика при сублиторальных колебаниях блоков земной коры. В нижнем течении р. Колымы речная вода расходуется на питание подмерзлотных вод Северо-Колымского артезианского бассейна. Эксплуатация Колымской гидроэлектростанции привела к увеличению расходов воды в зимнее время, к активизации процессов инфильтрации ее в недра геологических структур и увеличению площади талика под водохранилищем и в русле Колымы. Последнее имеет как положительные, так и отрицательные геоэкологические последствия.

Криолитозона, река Колыма, зимняя межень, Колымское водохранилище, водный сток, блоки литосферы

ANOMALOUS CHANGES OF KOLYMA-RIVER RUNOFF CONDITION IN WINTER PERIOD

V.Ye. Glotov, L.P. Glotova, M.V. Ushakov*

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, FEB of RAS,
685000, Magadan, Portovaya str., 16, Russia, geoecol@neisri.ru

*RF State Committee for the Hydro-Meteorology and Environment Monitoring, Kolyma Territorial Department,
685000, Magadan, Gagarina str., 12, Russia

Anomalous changes of runoff condition in winter period are described for the first time. As a result of these anomalies the average discharges in the river channel per separate years at the bottom range are less than at the superposed one. This difference of the runoffs is greater than the water discharge for the ice cover formation, including icings. The conclusion is made that within the limits of the cryogenic zone the runoff loss is due to the contemporary volumetric expansions – compression of capacitive space of the open river-channel talik during the sublittoral fluctuations of blocks of terrestrial crust. In the lower course of the Kolyma River the water is spent to recharge the North-Kolyma artesian basin underground waters. The operation of the Kolyma hydroelectric power station has resulted in the increase of the water discharge in winter time, in the activation of processes of water infiltration into earth and in the enlargement of the talik area under the water reservoir and in the Kolyma river channel. The last fact has both positive and negative geoecological consequences.

Cryolitozone, Kolyma River, winter period, Kolyma reservoir, runoff, lithosphere blocks

ВВЕДЕНИЕ

Река Колыма (рис. 1) – крупнейшая на Северо-Востоке России. При длине от места слияния рек Кулу и Аян-Юрях до устья 2129 км и площади водосбора 647 000 км² она ежегодно сбрасывает в Восточно-Сибирское море около 120 км³ пресной воды. Более 95 % этого объема поступает в теплое время года – с мая по сентябрь. По этой причине

основное внимание исследователей направлено на изучение закономерностей формирования общего годового стока или особенностей режима стока в период открытого русла при среднесуточных температурах воздуха выше 0 °С.

После установления среднесуточных температур воздуха ниже 0 °С на открытых водотоках и

водоемах возникают устойчивые ледяные образования. Речной сток вступает в *зимнюю межень*, которая продолжается до даты начала его весеннего резкого увеличения. В бассейне р. Колымы зимняя межень длится семь месяцев – с конца сентября по апрель. Особенности формирования речного стока в этот период практически не изучены. Имеющиеся фактические материалы обработаны для получения только общих характеристик минимального стока [Насыбуллин, 1969].

В 1980 г. в долине р. Колымы в 1840 км выше устья была сооружена Колымская ГЭС, включающая и Колымское водохранилище с полным объемом воды 15,1 км³. Режим зимнего стока реки ниже ГЭС стал определяться регулируемыи сбросами воды для получения электроэнергии. Закономерности изменений техногенно регулируемого зимнего речного стока не выявлены.

Исходя из этих обстоятельств, мы поставили целью изучить особенности режима зимнего стока в русле Колымы на всем его протяжении как в естественных, так и в техногенно измененных условиях. Актуальность предпринятого исследования определяется тем, что в горных районах все водотоки, в том числе р. Колыма, в зимнюю межень питаются исключительно подземными водами. Поэтому, изучив закономерности трансформации зимнего речного стока, мы можем получить новые данные об особенностях формирования подземных вод зоны активного водообмена в гидрогеологически малоизученных регионах. Знание этих закономерностей необходимо для надежного обеспечения пресной водой населенных пунктов и промышленных предприятий на берегах р. Колымы, прогноза устойчивости гидротехнических сооружений в ближайшей и дальней перспективе, сохранности водных обитателей в зимнее время, определения тенденции развития таликов в речной долине и т. д.

Для достижения намеченной цели использованы данные о зимнем стоке р. Колымы, которые получены в результате многолетних наблюдений на гидрометрических постах территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – Колымского (КУГМС), Якутского (ЯУГМС), Чукотского (ЧУГМС). Эти сведения опубликованы в ежегодных изданиях Государственного водного кадастра, вып. 17 [2009]. Среднемесячные, среднегодовые расходы реки и другие гидрометрические показатели взяты из справочника “Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши” [1985]. Используются также результаты полевых и камеральных работ авторов и другие, данные геокриологических, инженерно-геологических и гидрогеологических исследований в долине Колымы в период с 1932 по 2008 г., представленные в отчетах, храня-



Рис. 1. Схематическая гидрографическая карта Северо-Востока России:

1 – населенные пункты; 2 – гидрографические посты: 1 – пос. Оротук, 2 – пос. Дусканья, 3 – пос. Синегорье, 4 – пос. Усть-Среднекан, 5 – пос. Среднеколымск, 6 – пос. Колымское-1; 3 – Колымская гидроэлектростанция.

щихся в Магаданском филиале Федерального государственного управления территориальным фондом информации по Дальневосточному федеральному округу.

Для обработки фактического материала применялись традиционные методы камеральных исследований, информационного анализа, математической статистики, строились графики и схемы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗИМНЕГО СТОКА

По многолетним данным установлено, что сток р. Колымы в зимнюю межень (октябрь–апрель) в естественных условиях составляет в среднем 4–6 % от общего годового [Чернышева, 1969]. Этот сток формируется большей частью дренарованием вод сезонноталого слоя (СТС) и водоносного горизонта наиболее проницаемых аллювиальных галечников в речных долинах в октябре–ноябре. На эти два месяца приходится около 80 %

Таблица 1. Среднемесячные и среднегодовые расходы воды р. Колымы за многолетний период в естественных условиях [Многолетние данные..., 1985]

| № поста | Пост на р. Колыма (расстояние от устья, км) | Водо-сбор, тыс. км ² | Период наблюдений | Среднемесячные расходы воды по месяцам, м ³ /с | | | | | | Общий годовой сток, млн м ³ | |
|---------|---|---------------------------------|------------------------|---|------|------|------|------|------|--|---------|
| | | | | X | XI | XII | I | II | III | | IV |
| 1 | Оротук (2059) | 42,6 | 1957–1980 | 71,7 | 22,8 | 9,3 | 4,0 | 2,9 | 1,8 | 1,45 | 8735 |
| 2 | Дусканья (1963) | 50,1 | 1948–1980 | 92,8 | 27,2 | 12,2 | 6,4 | 3,5 | 2,39 | 2,21 | 10 700 |
| 3 | Синегорье (1840) | 61,5 | 1933–1951 1958–1980 | 153 | 42,0 | 18,5 | 8,3 | 4,4 | 2,62 | 3,1 | 14 400 |
| 4 | Усть-Среднекан (1623) | 99,4 | 1933–1980 | 238 | 71,7 | 34,3 | 16,0 | 9,5 | 6,59 | 5,88 | 23 200 |
| 5 | Среднеколымск (641) | 361,0 | 1927–1931 1934–1980 | 980 | 322 | 196 | 114 | 78,8 | 63,8 | 55,6 | 70 400 |
| 6 | Колымское-1 (273) | 525,0 | 1977–1980 | 1793 | 408 | 257 | 143 | 74 | 65 | 44 | 120 000 |

зимнего стока. Сток воды в декабре составляет примерно 8 % и обеспечивается преимущественно водоносными таликами: подрусловыми, подозерными, конусов выноса и др. Остальные 12 % объема зимнего стока приходится на январь–апрель с закономерным понижением расходов воды в реке по мере приближения к дате начала весеннего массового таяния снега (табл. 1). Во второй половине зимней межени, начиная с января, все реки региона, в том числе Колыма, питаются водами устойчивых надмерзлотных таликов, глубина которых превышает 4 м, водами сквозных таликов и подмерзлотными водами [Глотов, Глотова, 2010].

Анализ данных среднемесячных и годовых расходов воды за многолетний период до сооружения Колымской ГЭС показывает, что по мере увеличения водосборной площади в зимнюю межень происходит закономерное увеличение и среднегодового стока, и среднемесячных его значений (см. табл. 1).

Указанная гидрологическая закономерность свойственна всем рекам Земли в областях с гумидным климатом.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Изучение структуры внутримесячного стока по всем годам гидрометрических наблюдений до 1980 г. показало, что в отдельные годы отчетливо выражены отклонения от указанной закономерности – аномалии стока. Эти аномалии чаще всего отмечаются в апреле и редко в январе. Они характеризуются тем, что расход воды в нижнем по течению створе меньше, чем в верхнем. Сравнимые между собой пары створов мы назвали сопряженными. По руслу р. Колымы многолетние данные о зимнем стоке имеются по следующим сопряженным парам: пос. Оротук–пос. Дусканья, пос. Дусканья–пос. Синегорье, пос. Синегорье–пос. Усть-Среднекан, пос. Усть-Среднекан–г. Среднеколымск, г. Среднеколымск–пос. Колымское-1*.

В табл. 2 помещены сведения только по годам максимального и минимального проявления рассматриваемой аномальности. Из табл. 2 следует, что наиболее часто месяцы с аномальным проявлением стока наблюдались в паре “пос. Дусканья–пос. Синегорье”.

В паре “пос. Среднеколымск–пос. Колымское-1” аномальные проявления зимнего стока зафиксированы в каждом году наблюдений. Отметим, что наибольшие и наименьшие потери стока редко совпадают с многоводными или маловодными годами.

Анализ фактических замеров по гидрометрическим постам позволил заключить, что инверсии стока по длине реки не связаны с ошибками замеров расхода, а определяются проявлениями естественных процессов. В их числе наиболее вероятна обходная фильтрация за счет увеличения ширины надмерзлотного талика и сквозного подруслового талика, как следствие глобального потепления климата и увеличения количества осадков. Возможное влияние этого природного явления на речной сток на Северо-Востоке России следует из работ С.М. Фотиева [1966] и Н.Н. Романовского с соавт. [2009]. Однако нельзя не заметить, что в конкретных условиях проявление обходной фильтрации, генерируемой этим фактором, наблюдалось бы ежегодно и особенно отчетливо в маловодные годы. Фактически аномалии режима зимнего стока носят незакономерный характер, что отвергает высказанное предположение. Другая возможная причина – нарастание ледяного покрова в русле реки. На изучаемых створах увеличение толщины льда происходит как за счет намерзания снизу, так и за счет наледеобразования сверху. Поэтому мы сопоставили объемы воды, аккумулируемой в ледяном покрове во второй половине периода зимней межени в русле реки между сопряженными постами, с расчетным объемом льда, который мог бы образоваться при замерзании “потерянного

* Пара “г. Среднеколымск–пос. Колымское-1” с периодом наблюдений 4 года включена в исследование из-за отсутствия иных более статистически достоверных данных.

Таблица 2. Среднемесячные расходы воды (м³/с) в зимние месяцы по сопряженным постам р. Колымы в естественных условиях

| Год аномальности | Месяц | Расходы на сопряженных постах, м ³ /с | | Убыль стока, м ³ /с | Всего аномальных лет |
|-------------------------------|----------------------|--|---------------|--------------------------------|------------------------------|
| | | Оротук | Дусканья | | |
| 1961, мин. 1980, макс. | II | 2,37 | 1,92 | 0,45 | 3 года (1961, 1979, 1980) |
| | III | 1,46 | 1,26 | 0,20 | |
| | IV | 1,28 | 0,82 | 0,46 | |
| | I | 4,66 | 3,26 | 1,40 | |
| | II | 3,42 | 1,78 | 1,64 | |
| | III | 2,25 | 1,13 | 1,12 | |
| | IV | 1,80 | 0,34 | 1,46 | |
| | | Дусканья | Синегорье | | |
| 1977, мин. 1969, макс. | III | 0,75 | 0,55 | 0,20 | 14 лет |
| | IV | 0,59 | 0,50 | 0,09 | |
| | I | 7,99 | 3,99 | 4,00 | |
| | II | 5,40 | 2,03 | 3,37 | |
| | III | 4,29 | 1,17 | 3,12 | |
| | IV | 2,50 | 0,79 | 1,71 | |
| | | | Синегорье | Усть-Среднекан | |
| 1967, мин. 1963, макс. | IV | 3,43 | 2,96 | 0,47 | 3 года (1963, 1967, 1972) |
| | I | 14,60 | 12,30 | 2,30 | |
| | II | 9,98 | 9,19 | 0,79 | |
| | III | 6,91 | 5,96 | 0,95 | |
| | IV | 7,24 | 5,62 | 1,62 | |
| | | Усть-Среднекан | Среднеколымск | | |
| Аномального зимнего стока нет | | | | | |
| 1979, мин. 1980, макс. | II III IV I | Среднеколымск | Колымское-1 | 23,9 24,8 29,8 11,0 | 4 года (1977–1980) |
| | | 82,3 | 58,4 | | |
| | | 67,9 | 43,1 | | |
| | | 60,4 | 30,6 | | |
| 1980, макс. | II III IV | 155,0 | 144,0 | 38,6 37,1 36,0 | |
| | | 123,0 | 84,4 | | |
| | | 105,0 | 69,7 | | |
| | | 79,2 | 43,2 | | |

стока”. Материалы для сопоставления получены при ежегодных замерах толщины льда в замыкающих створах сопряженных постов. Учитывая громоздкость расчетов, в табл. 3 мы приводим данные только для максимальных значений скорости нарастания ледяного покрова за месяц, рассчитанных с учетом наибольших аномальных убылей стока.

Наблюдаемое уменьшение водного стока на участках русла между постами “Оротук–Дусканья” и “Дусканья–Синегорье” превышало затраты речной воды на образование фактического ледяного покрова. На участке русла между постами “Синегорье–Усть-Среднекан” аналогичные потери происходили в апреле, а между г. Среднеколымск и пос. Колымское-1 – в феврале–апреле. Между постами “Усть-Среднекан–Среднеколымск” аномальных убылей речного стока не было.

Начало эксплуатации Колымской ГЭС с 1980 г. вызвало значительные изменения в речном стоке. Образовалось водохранилище с максималь-

ной глубиной у плотины 108 м, длиной около 140 км, затопившее пос. Дусканья и приустьевые участки таких крупных притоков с круглогодичным стоком, как Тенька, Детрин, Кюель-Сиена. Сбросы воды из водохранилища увеличили расходы реки в нижнем бьефе в зимнюю межень по всей протяженности долины до устья, хотя общий среднегодовой сток, проявляя тенденцию к уменьшению, достаточно близок к величине стока до строительства ГЭС (табл. 4). Уменьшение может быть связано с возрастанием потерь на эвапотранспирацию в пойме и испарение с водной поверхности в теплое время года, но возможны и иные причины, которые вызваны изменениями мерзлотно-геологических обстановок в бассейне р. Колымы под влиянием техногенных и естественных факторов. Резко возросли потери воды в сопряженных створах “Синегорье–Усть-Среднекан”, “Среднеколымск–Колымское-1”. Одновременно аномально вырос сток воды в зимнее время в створе у г. Среднеколымск.

Таблица 3. Максимальные объемы льда в русле р. Колымы, формируемые во второй половине зимней межени [Многолетние данные..., 1985]

| Расстояние между постами, м | Сред. ширина русла, м | Месяц | Нарастание льда (м) на сопряженных постах по месяцам | | Прирост льда, м (сред. между постами) | Факт. объем льда, тыс. м ³ | Расчет. объем льда, тыс. м ³ | Разность факт. и расчет. объемов льда, тыс. м ³ |
|-----------------------------|-----------------------|-------|--|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| | | | Оротук | Дусканья | | | | |
| 96 000 | 50 | I | 0,74 | 0,50 | 0,62 | 2976 | 4166,4 | -1190,4 |
| | | II | 0,35 | 0,30 | 0,325 | 1536 | 4408,3 | -2872,3 |
| | | III | 0,43 | 0,30 | 0,365 | 1540 | 3333,0 | -1793,0 |
| | | IV | 0,24 | 0,12 | 0,18 | 864 | 4204,8 | -3340,8 |
| | | | Дусканья | Синегорье | | | | |
| 119 000 | 100 | I | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 5950 | 11 904,0 | -5954,0 |
| | | II | 0,30 | 0,26 | 0,28 | 3332 | 9058,6 | -5726,6 |
| | | III | 0,30 | 0,09 | 0,17 | 2023 | 9285,1 | -7262,1 |
| | | IV | 0,12 | 0,03 | 0,085 | 1011 | 4924,8 | -3913,8 |
| | | | Синегорье | Усть-Среднекан | | | | |
| 221 000 | 150 | I | 0,49 | 0,21 | 0,35 | 11 602,0 | 6844,8 | +4757,7 |
| | | II | 0,26 | 0,09 | 0,175 | 5801,2 | 2123,5 | +3677,7 |
| | | III | 0,09 | 0,20 | 0,145 | 4806,8 | 2827,2 | +1979,6 |
| | | IV | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 663,0 | 4665,6 | -4002,6 |
| | | | Среднеколымск | Колымское-1 | | | | |
| 368 000 | 500 | I | 0,12 | 0,32 | 0,20 | 36 800 | 32 736 | +4064,0 |
| | | II | 0,10 | 0,24 | 0,17 | 31 280 | 103 757 | -72 476,8 |
| | | III | 0,15 | 0,18 | 0,165 | 30 360 | 110 410 | -80 049,6 |
| | | IV | 0 | 0,07 | 0,035 | 6440 | 103 680 | -97 240,0 |

В числе естественных причин потери стока в зимнее время могут быть обходная фильтрация и затраты воды на нарастание ледяного покрова. Возникновение обходной фильтрации вполне реально, поскольку увеличилась ширина реки на участке "пос. Синегорье-пос. Усть-Среднекан" в зимний период в среднем до 250 м. Вместе с тем из-за сброса относительно более теплой воды из водохранилища ниже плотины Колымской ГЭС ежегодно всю зимнюю межень сохраняется полынья длиной до 15–20 км. Мощность ледяного покрова уменьшилась на 10–15 см, стало больше полыней. Если его средняя мощность составляет 1,5 м, протяженность от створа пос. Усть-Среднекан вверх по руслу Колымы равна 220 км, то объем льда, накопленного за семь месяцев зимней межени, будет около $82,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, что потребует среднего расхода воды примерно $4 \text{ м}^3/\text{с}$. Это величина

многократно меньше реального уменьшения расхода воды в створе "р. Колыма-пос. Усть-Среднекан" в сравнении с величиной сброса воды из Колымского водохранилища в зимние месяцы.

Несущественны относительные потери воды на обходную фильтрацию. Если мощность аллювиальных галечников 20 м, средняя водопроницаемость равна $400 \text{ м}^2/\text{сут}$, уклон 0,62 (рис. 2), скорость фильтрации воды в галечниках $12,4 \text{ м}/\text{сут}$, или $0,14 \text{ мм}/\text{с}$, потери стока на посту пос. Усть-Среднекан в апреле около $70 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 4), то можно рассчитать, что ширина новообразованного талика должна достигать 125 тыс. м, что значительно больше ширины долины р. Колымы на всем ее протяжении. Поэтому рассмотренные причины не могут вызвать аномального уменьшения расходов воды в холодный период года на участке русла от г. Среднеколымск до пос. Колымское-1.

Таблица 4. Среднемесячные расходы р. Колымы (м³/с) по постам ниже створа Колымской ГЭС в зимнюю межень за период 1980–2008 гг. [Ежегодные данные..., 2009]

| Номер поста на схеме | Пост на р. Колыма | Месяц | | | | | | Общий годовой сток, 10^6 м^3 |
|----------------------|---------------------------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|--|
| | | XI | XII | I | II | III | IV | |
| 3 | Синегорье (Колымская ГЭС) | 302 | 338 | 352 | 362 | 341 | 337 | 14 412 |
| 4 | Усть-Среднекан | 299 | 275 | 266 | 290 | 278 | 267 | 21 318 |
| 5 | Среднеколымск | 648,6 | 576,4 | 542 | 483 | 454,5 | 443,5 | 64 018 |
| 6 | Колымское-1 | 568 | 472 | 275 | 253 | 281 | 259 | 117 629 |

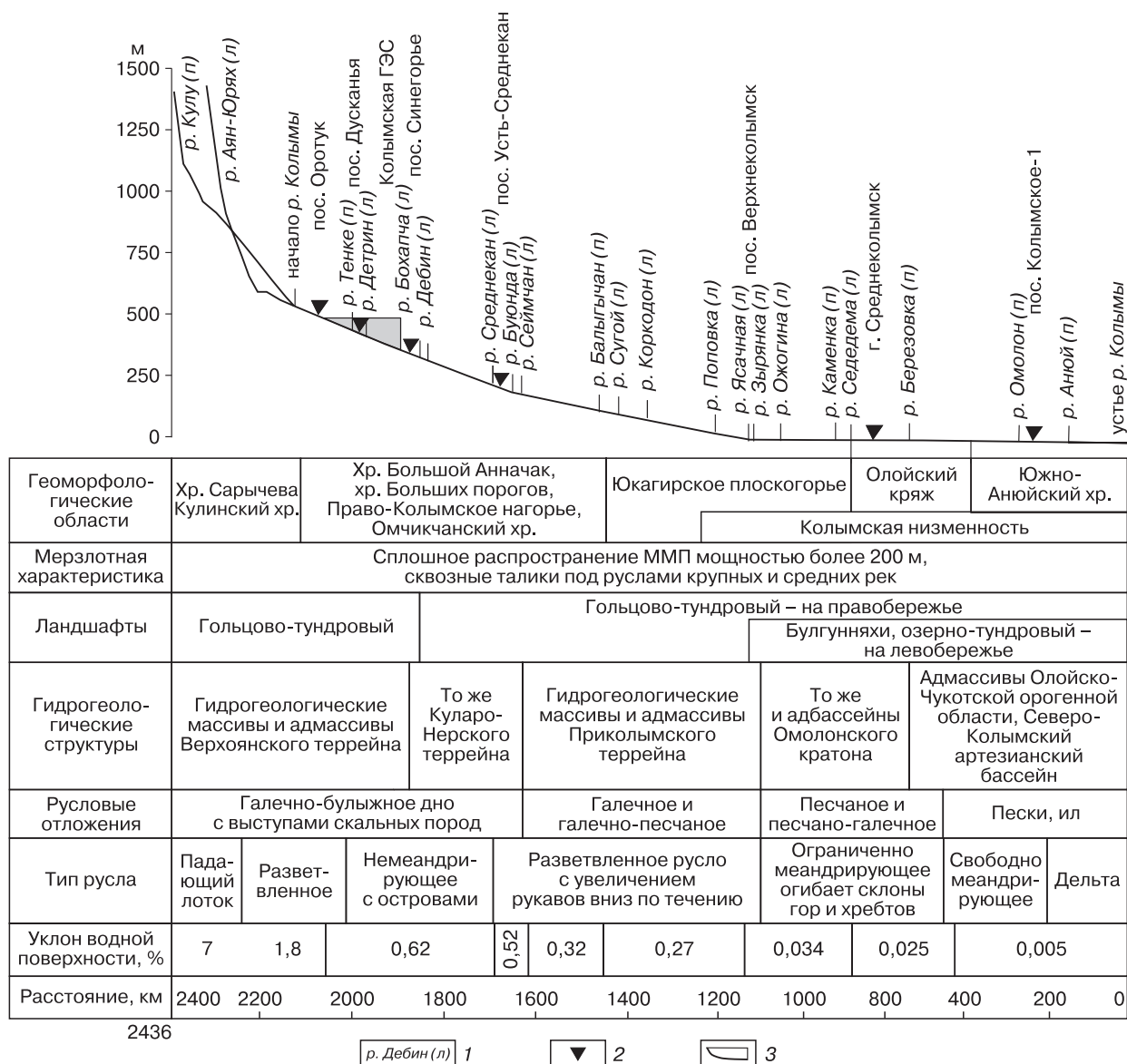


Рис. 2. Продольный профиль р. Колымы (по А.И. Мосаловой [1969], с добавлениями авторов):

1 – название притока Колымы, (л) – левый, (п) – правый; 2 – гидрометрические посты; 3 – Колымское водохранилище.

Следовательно, должны существовать другие причины, вызвавшие незакономерные изменения речного стока.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Не подлежит сомнению тот факт, что снижение расходов воды в руслах непромерзающих рек вызвано наледеобразованием, что нашло отражение в данных табл. 3. На рис. 2 приведен продольный профиль р. Колыма, из которого следует, что от пос. Оротук до устья р. Буюнда русло реки не меандрирующее, не разветвленное. Поэтому наледи развиваются прежде всего в русле реки, а не на

ее террасах и не на слабовыраженной пойме. На этом же участке отмечены наиболее частые проявления аномального стока в зимнюю межень, связанные с избыточными относительно затрат на льдообразование потерями стока в створах постов Дусканья, Синегорье, меньше всего в створе поста у пос. Усть-Среднекан.

Для объяснения этих потерь обратим внимание на то, что русло Колымы от верховьев до пос. Синегорье (Колымская ГЭС) заложено в зоне тектонического разлома в пределах фрагмента Куларо-Нерского террейна – в Аян-Юряхском антиклинории. В структурно-гидрогеологическом от-

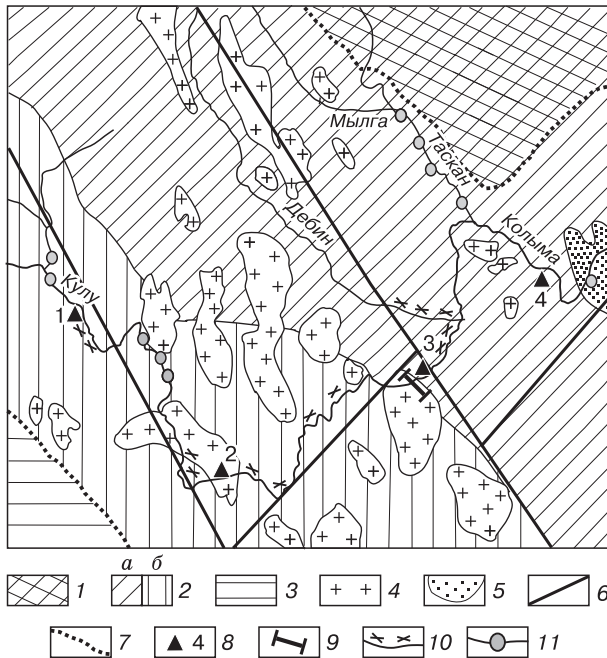


Рис. 3. Схема расположения основных гидрогеологических структур в бассейне верхнего течения р. Колымы (геологическая основа по [Геология..., 1970]):

1 – система гидрогеологических массивов Приколымского террейна, 2 – система адмассивов и гидрогеологических массивов Куларо-Нерского террейна (а – Иньяли-Дебинский синклиниорий, б – Аян-Юряхский антиклиниорий), 3 – система адмассивов и гидрогеологических массивов Верхоянского террейна, 4 – гидрогеологические массивы, связанные с гранитными интрузиями, 5 – Сеймчано-Буяндинский артезианский бассейн, 6 – глубинные неотектонически активные разломы, 7 – границы террейнов, 8 – гидрометрические посты с номерами, 9 – створ Колымской ГЭС, 10 – наледь по всему руслу реки, 11 – польны по всему руслу реки.

ношении рассматриваемая часть водосборной площади представлена системой адмассивов, сложенных пермскими и триасовыми осадочными образованиями и гидрогеологическими массивами, сложенными кислыми интрузивными породами (рис. 3). На участке от пос. Синегорье до пос. Усть-Среднекан русло реки наследует зоны разломов в пределах южного окончания Иньяли-Дебинского синклинория Куларо-Нерского террейна. Гидрогеологические массивы и адмассивы этой структуры отличаются наиболее низкой водообильностью из-за очень большого количества глинистого материала в новообразованных трещинах любого генезиса.

Многолетнемерзлые породы (ММП) распространены повсеместно, мощность их на водоразделах и склонах долин превышает 200 м, в днищах долин – до 150 м. Зоны гипергенной трещиноватости полностью проморожены. Сквозные талики до 1980 г. выявлены только под руслом р. Колымы. Коэффициент фильтрации аллювиальных гравийно-галечных отложений до глубины 3–4 м составляет от 50 до 200 м/сут, а глубже уменьшается до 0,1–0,5 м/сут. В подстилающих аллювий коренных породах в сквозном талике в зоне региональной трещиноватости коэффициент фильтрации изменяется от 10 до 0,1 м/сут, а в локально-водоносных зонах тектонических разломов ниже зоны выветривания – от 0,14 до 3,4 м/сут.

В современную эпоху вся водосборная площадь р. Колымы до замыкающего створа у пос. Усть-Среднекан испытывает интенсивный неотектонический подъем, на фоне которого в днищах рек происходит заложение грабен-долин. Одна из таких неотектонических структур сформировалась выше створа у пос. Оротук. Грабен-долины заполнены аллювиальными галечниками и являются местными скоплениями подземной воды под руслами рек. Разгрузка водоносных галечников этих грабен-долин на участках современного врезания реки в коренные породы вызывает развитие сплошной наледи по руслу р. Колымы до устья р. Дебин (см. рис. 3). Как показано ранее, тектоническая активность бассейна Верхней Колымы обуславливает современные постоянные разнонаправленные микроподвижки по зонам разломов, которые ранее были названы нами “колыханием литосферных плит” [Глотов, Глотова, 2008]. На малых и средних горных водотоках, зимний сток которых характеризуется данными, полученными на одном посту, эти “колыхания” выявляются только по аномальному приросту речного стока во второй половине зимней межени. В сравнении с ними в р. Колыма, отличающейся наиболее высокими зимними расходами воды, регистрируемыми на шести постах, можно установить современные микродвижки и микрораздвижки по данным о поглощениях части стока. По величине убыли стока на сопряженных постах можно ориентировочно оценить количественные параметры этого тектонического процесса. Например, на сопряженном участке “пос. Дусканья–пос. Синегорье”, в пределах которого русло врезано в коренные породы, наибольшая потеря стока (сверх расхода воды на образование покрова льда) произошла в марте 1969 г. (см. табл. 2). Исключив затраты воды на формирование ледяного покрова, мы увидим, что убыль стока в этом месяце составила 2,44 м³/с. Объем талых пород в сквозном талике при мощности зоны гипергенеза 200 м и ширине талика, равной ширине русла в зимнюю межень (100 м), составит 238·10⁷ м³.

Существование аperiodических тектонических разнонаправленных микроподвижек указывает на изменчивость напряженно-деформационно-

го состояния блоков горных пород. Особенность этого состояния в том, что горизонтальная составляющая сжимающих или растягивающих усилий превышает их вертикальную или литостатическую составляющую. Как показал С.Н. Тагильцев [2003], за счет горизонтальных подвижек в блоках формируется регионально развитая сеть трещин, по которым происходят гипергенные процессы. Следовательно, ранее выявленные “колыхания” литосферных блоков вызывают аperiодические объемные расширения–сжатия трещин горных пород, что определяет аномалии речного стока, заметные в зимнюю межень. Судя по частоте проявлений аномалий стока, Аян-Юряхский антиклинорий неотектонически более подвижен, чем Иньяли-Дебинский синклиний.

Эксплуатация водохранилища Колымской ГЭС вызвала увеличение объема сквозного талика под руслом в нижнем бьефе. Одновременно перепад гидростатического давления в нижнем и верхнем бьефе около 1 МПа и подъем уровня речной воды в зимнее время на 1,0–1,5 м способствовали возрастанию величины и стабилизации поглощения ее в створе “Синегорье–Усть-Среднекан”.

Ниже пос. Усть-Среднекан русло реки пересекает Сеймчано-Буяундинский артезианский бассейн и систему гидрогеологических массивов Приколымского поднятия. По данным гидрогеологических исследований, артезианский бассейн является местной областью разгрузки подземных вод окружающих гидрогеологических массивов. В свою очередь, подмерзлотные воды бассейна разгружаются в Колыму [Глов, 2009]. На этом участке русло реки ветвящееся, с постоянными полыньями в течение всего зимнего периода. Уклон водной поверхности на этом участке уменьшается почти в два раза по сравнению с вышележащим участком русла (см. рис. 2). Все это способствует разгрузке поглощенных подземных вод на всем протяжении русла ниже пос. Усть-Среднекан до г. Среднеколымск. Данный процесс осуществлялся и в естественных условиях, но увеличение площади живого сечения сквозного талика за счет сброса воды из Колымского водохранилища его усугубила.

Участок от г. Среднеколымск до устья р. Колыма находится в зоне контакта Северо-Колымского артезианского бассейна с системами гидрогеологических структур Омолонского кратона и Анюйско-Чукотской орогенной области. Системы гидрогеологических адмассивов и массивов отличаются сплошным распространением ММП и низкой водообильностью пород, слагающих эти структуры [Глов, Глова, 2010]. Поэтому боковые притоки воды в русло р. Колымы в зимнюю межень незначительны. Вместе с тем убыль речной воды, постоянно фиксируемая в створе у

пос. Колымское-1 при слабом развитии наледей, указывает на то, что основные потери речной воды связаны с постоянной инфильтрацией в рыхлые толщи. Возможно, что формируемый поток пресных подземных вод разгружается не только в Восточно-Сибирское море, но и в толщу осадочных отложений Северо-Колымского бассейна. В гидрогеологическом отношении он не изучен. По данным бурения трех скважин и геофизическим работам, слаболигифицированные осадочные отложения кайнозойского возраста за пределами русла р. Колымы заморожены до глубины около 500 м. По результатам опробования скважины в районе бухты Тикси установлено, что подмерзлотные воды имеют статический уровень на 70 м ниже современного. Дефицит пластовых давлений свойствен и Индигиро-Зырянскому осадочному бассейну [Глов, 2009]. Следовательно, можно полагать, что и статические уровни подмерзлотных вод Северо-Колымского бассейна будут на 50–60 м ниже уровня воды в русле Колымы. При этом условии р. Колыма в своем нижнем течении может быть областью современного питания подмерзлотных вод указанного бассейна. Это питание активизировалось в связи со строительством и эксплуатацией Колымской ГЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение комплекса гидрогеологических, мерзлотно-гидрогеологических, неотектонических и климатических материалов позволило объяснить отклонения от нормы стока в русле Колымы во вторую половину зимней межени. Эти отклонения проявляются в естественных условиях в эпизодических уменьшениях стока в январе–апреле по створам отдельных постов. На посту г. Среднеколымск подобных аномалий за все время наблюдений не отмечено. Установлено, что аномалии стока в естественных условиях чаще всего наблюдались при сравнении расходов у пос. Дусканья и в створе у пос. Синегорье, в 4 км ниже плотины Колымской ГЭС. После сооружения Колымской ГЭС и начала ее эксплуатации в 1980 г. на участке русла от пос. Синегорье до пос. Усть-Среднекан убыль расходов в зимнюю межень стала происходить ежегодно во все месяцы второй половины зимней межени. На участке от пос. Усть-Среднекан до г. Среднеколымск, как в ненарушенных условиях, происходит закономерное увеличение расходов воды. Убыль же значительно возросла на участке русла от г. Среднеколымск до пос. Колымское-1. При этом она почти на порядок превосходит потери стока в естественных условиях.

Из анализа фактических данных о стоке в разных мерзлотно-гидрогеологических условиях сделан вывод, что одна часть стока идет на образование русловых наледей, а другая обусловлена

эндогенными процессами. На участке активных неотектонических подвижек в верхнем течении Колымы до замыкающего стока у пос. Усть-Среднекан происходят потери стока при возрастании площади сечения емкостного пространства в сквозном талике, возникающем при микрораздвигах блоков пород. Величина этого раздвига в среднем равна сотым и тысячным долям миллиметра, но в конце зимней межени, когда расходы воды малы, такие потери становятся заметными.

После сооружения ГЭС и сброса воды в зимнюю межень начался процесс увеличения площади живого сечения сквозного талика в ложе Колымского водохранилища и под руслом р. Колымы в нижнем бьефе, а также вовлечение в этот талик древних переуглубленных русел в грабен-долинах. Это активизировало процессы питания подрусловых вод и подмерзлотных подземных вод в прилегающих гидрогеологических структурах. Разгрузка их при понижении уклонов водной поверхности в русле реки на участке от пос. Усть-Среднекан до г. Среднеколымск повысила расходы воды в зимнюю межень на большую величину, чем боковой приток. Ниже г. Среднеколымск по восточной окраине Северо-Колымского артезианского бассейна происходит восполнение ресурсов подмерзлотных пластовых вод, чем объясняется постоянное снижение расходов воды в русле во второй половине зимней межени в створе у пос. Колымское-1.

Искусственное увеличение расходов речной воды в нижнем бьефе в зимнюю межень почти в 50 раз сделало малозаметными гидрологические следствия “колыхания” блоков земной коры, тем не менее, они происходят.

Геоэкологическая значимость установленных аномальных изменений режима стока в русле Колымы в зимнюю межень пока неизвестна, но предполагается существенной. Увеличение площади живого сечения сквозного талика под дном Колымского водохранилища и под руслом Колымы в нижнем бьефе отражается в оживлении активности водообмена, что может сказаться негативно на устойчивости всех основных гидротехнических сооружений Колымской ГЭС. Возможно, негативным будет влияние микросдвигов и микронадвигов на целостность бетонных, металлических и железобетонных конструкций. Предполагается оживление сейсмических процессов из-за возрастания водообильности трещин в зонах разломов.

Положительные геоэкологические следствия происходящих изменений заключаются в увеличении ресурсов пресных подземных вод в русле Колымы, в накоплении тепла в пойменных таликах, создании благоприятной среды для зимовки и размножения рыбных стад и т. д. Все это указывает на необходимость дальнейшего изучения формирования водного стока в долине р. Колымы, прежде всего в зимнее время.

Литература

- Геология СССР.** Т. 30. Северо-Восток. М., Недра, 1970, кн. 2, 498 с.
- Глотов В.Е.** Гидрогеология осадочных бассейнов Северо-Востока России. Магадан, ОАО “Кордис”, 2009, 232 с.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Естественные нарушения подземного питания рек бассейна Верхней Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 72–78.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Особенности питания рек подземными водами на арктическом склоне Чукотки: теоретические и практические аспекты // Вестн. СВНЦ ДВО РАН, 2010, № 1, с. 89–98.
- Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.** 2008. Т. 1, вып. 17. Бассейн р. Колымы и рек Магаданской области. Магадан, УОП Колымского УГМС, 2009, 203 с.
- Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.** Т. 1, вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. Л., Гидрометеиздат, 1985, 430 с.
- Мосалова А.И.** Общая характеристика гидрографической сети и описание отдельных рек // Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л., Гидрометеиздат, 1969, с. 30–57.
- Насыбуллин Ш.С.** Зимний минимальный сток // Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., Гидрометеиздат, 1969, т. 19, с. 205–211.
- Романовский Н.Н., Булдович С.Н., Типенко Г.С. и др.** Оценка влияния климатических изменений на поверхностный сток с помощью моделирования теплового взаимодействия многолетнемерзлых пород и подземных вод (на примере верхней части водосборного бассейна р. Лены) // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 1, с. 55–64.
- Тагильцев С.Н.** Тектоническая стратификация гидрогеологического разреза скальных массивов // Материалы XVIII Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. Иркутск, ИГТУ, 2003, с. 28–30.
- Фотиев С.М.** Проблема взаимодействия подземных вод и мерзлых пород в различных типах гидрогеологических структур на территории СССР // Материалы VIII Всесоюз. межвед. совещ. по геоэкологии. Якутск, Кн. изд-во, 1966, вып. 2, с. 38–48.
- Чернышева М.Р.** Внутригодовое распределение стока // Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., Гидрометеиздат, 1969, т. 19, с. 117–139.

*Поступила в редакцию
2 сентября 2010 г.*