

УДК 556.531.4:556.165

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕКИ ВИЛЮЙ ПОСЛЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА

Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П.

*ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru*

В статье представлены результаты анализа многолетних наблюдений основных характеристик речного стока р. Вилюй по данным многолетних наблюдений на гидрологических постах в естественных условиях и их изменений после ввода в эксплуатацию Вилюйских ГЭС. Приводятся результаты исследования колебаний годового стока р. Вилюй на водный режим р. Лены под воздействием работы ГЭС. На основе полученных данных установлено снижение летне-весеннего стока, увеличение осеннего и значительное увеличение зимнего стока. После ввода ГЭС основная часть стока приходится на зимний сезон за счет суточного и недельного регулирования водности. Приводятся условия формирования наледей на р. Вилюй после строительства ГЭС. Причина их заключается в образовании зимой по всей длине р. Вилюй ниже ГЭС выступания на лед и замерзания сработанных гидроэлектростанцией объемов воды. Образование наледей способствует росту ледяного покрова и увеличению минерализации вод в нижнем бьефе реки Вилюй. Показатели минерализации также подвержены сезонным изменениям. Максимальные показатели минерализации воды приходятся на осень и зиму, наименьшие в летний период. Изменения естественного состояния речного стока являются ключевым фактором, определяющим наиболее существенное изменение минерализации воды р. Лены в зимний период. Изменения на р. Лене прослеживаются до гп. Кюсюр. Выявленные изменения режима р. Вилюй и его возможного влияния на химический состав воды р. Лены и на различные объекты экосистемы в настоящее время не учитываются.

Ключевые слова: Вилюй, Лена, Вилюйская ГЭС, годовой сток, водный режим, наледи, минерализация воды

CHANGES IN THE HYDROLOGIC REGIME AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE VILYU RIVER AFTER FLOW REGULATION

Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P.

*V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch
of Russian Academy of Science, Yakutsk, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru*

The article presents the results of the long-term observations analysis of the main characteristics of the Vilyui River flow according to the perennial observations at hydrological posts in natural conditions and their changes after the placing in service of the Vilyui hydroelectric power plants. The research results of fluctuations in the annual flow of the Vilyui River on the Lena River water regime under the influence of the HPP operation are presented. Based on the data obtained, a decrease in summer-spring runoff, an increase in autumn runoff and a significant increase in winter runoff have been found. After the placing in service of the HPP, the main part of the runoff falls on the winter season due to daily and weekly regulation of water content. The conditions for the formation of glaciers on the Vilyui River after the HPP construction are given. The reason for them is the formation in winter time along the entire length of the Vilyui River below the HPP of protrusions on ice and the freezing of water volumes triggered by the hydroelectric power station. The formation of glaciers contributes to the growth of ice cover and the increase in water mineralization in the tail race of the Vilyui River. Mineralization indicators are also subject to the seasonal changes. The maximum indicators of water mineralization occur in autumn and winter, the lowest – in summer. Changes in the natural state of river flow are a key factor determining the most significant change in water mineralization of the Lena River in winter time. The changes on the Lena River can be traced to the gauging station Kyusyur. The revealed changes in the regime of the Vilyui River and its possible impact on the chemical composition of the Lena River water and on various objects of the ecosystem are currently not taken into account.

Keywords: the Vilyui, the Lena, the Vilyui HPP, annual flow, water regime, glaciers, mineralization of water

Выявленные изменения режима рек на территории вечной мерзлоты требуют учета и прогнозирования влияния антропогенных и естественных факторов на фоновые показатели воды и их воздействие на различные объекты экосистемы в региональном масштабе.

Цель работы – на примере р. Вилюй выявить характерные особенности изменения гидрологического режима северных рек после регулирования стока, а также возможное изменение химического состава поверхностных вод в узлах их слияния.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы фоновые материалы, литературные источники и данные, полученные институтом физико-технических проблем СО РАН в составе первой комплексной Вилюйской экспедиции в 1989 г. Малочисленность опорных гидрометеорологических пунктов, а также их неравномерное распределение на данной территории исключают возможность длительного накопления данных наблюдений для оценки пространственного распре-

деления речного стока. В связи с этим был применен метод географо-гидрологического районирования. Подготовительный этап выполнялся на основе картографических и фондовых материалов. В полевой сезон были проведены полевые гидрометрические и гидрографические исследования. За показатель однородности географо-гидрологических районов были приняты общность гидрологических явлений (водный и ледовый режимы, элементы водного баланса) с обуславливающими их основными природными факторами.

Результаты исследования и их обсуждение

Вилуйская ГЭС на р. Вилуей – первая крупная гидроэлектростанция в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород (рис. 1).

В связи с обширностью территории водосбора Вилуей и большим разнообразием ее природных условий наблюдаются существенные различия в водном режиме рек как по территории, так и во времени. Обилие водных объектов и малочисленность опорных гидрометеорологических пунктов на данной территории исключают возможность длительного накопления данных наблюдений. В этих условиях наиболее при-

емлемым методом изучения режима рек является метод географо-гидрологического районирования [1] и, в частности, закон зональности водного режима рек в целом. На рис. 2 на основе генетического подхода к рассмотрению основных фаз водного режима на территории бассейна р. Вилуей было выделено три района: Мархинский, Чонский и Нижневилуейский [2].

К Мархинскому району относятся: верхняя северная часть бассейна Вилуей, верхняя и средняя часть бассейна Мархи, Тюнга, бассейны Далдына, Моркоки и других рек. На севере и западе граница района проходит по водоразделу с Оленьком и Нижней Тунгуской, на юге – по линии Амбардаах-Олгуйдаах, Улахан-Дьюттели, затем пересекает Чилии, Тююкэн и идет вдоль Тюнга.

К Чонскому району относятся средняя и южная часть бассейна Вилуей, включающая водосборы р. Чоны, Улахан-Ботубуйи, Оччугуй-Ботубуйи, Вилуейчана и других. Западная и южная граница района проходит по водоразделу с бассейнами Нижней Тунгуски и Лены, восточная граница проходит по Сунтарской излучине.

К Нижневилуейскому району относится нижняя часть бассейна Вилуей, охватывающая низовье Тюнга, Чилии, Тююкэна, водосборы Танггары, Унга-Харыйалаах и других.



Рис. 1. Схема расположения Вилуейских ГЭС на территории РС Якутия

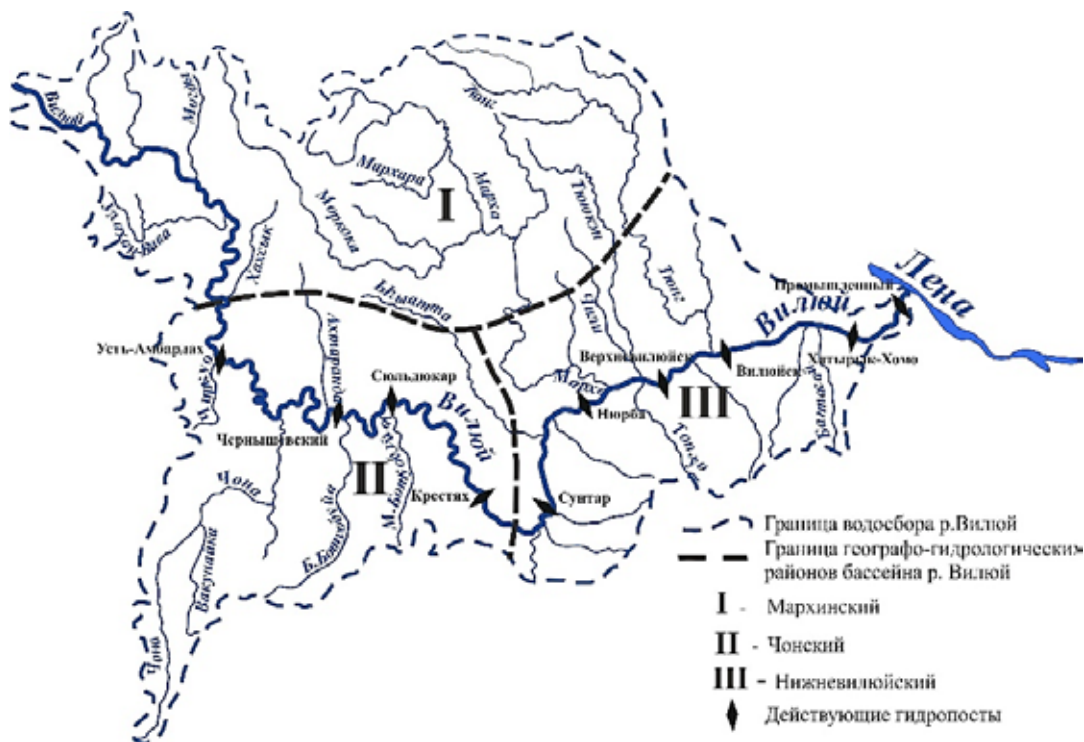


Рис. 2. Географо-гидрологическое районирование бассейна р. Вилюй [2]

После строительства Вилюйской ГЭС в выделенных географо-гидрологических районах, Вилюй может быть разделен на три участка. От истока до створа ГЭС – верхний участок, от створа ГЭС до устья Мархи средний участок и от впадения Мархи до устья – нижний участок [3].

Водосборная площадь Вилюя в створе ГЭС охватывает два географо-гидрологических района – Мархинский и Чонский. Объем стока боковой приточности составляет 24–34%, т.е. в 2–3 раза меньше, чем сток с верховьев Вилюя. Сток с водосбора Чоны (гм/с Усть-Марха) не превышает и 10% общего объема стока у пос. Чернышевский.

Основная доля весеннего стока (70–80%) формируется в Мархинском районе. Паводковые воды (60–70%) образуются в северной, наиболее возвышенной, части бассейна Вилюя. В средний по водности год объем паводков составляет 5,45 км³. Зимний сток в зависимости от водности года составляет 5–10%. Режим стока имеет характер постепенного уменьшения от начала к концу зимы, и наименьший зимний расход, понижающийся до 0,3 м³/с, наблюдается в конце апреля.

На среднем участке Вилюя, протяженностью 797 км, летне-осенняя межень, как пра-

вило, прерывается летними паводками. Объем стока за летне-осенний сезон составляет 22–43% годового, или 4,5–9,9 км³. На зимний период (ноябрь – апрель) приходится всего 1–2% годового объема стока. Расход воды в этот период имеет тенденцию постепенного плавного понижения, в апреле, по данным наблюдений у с. Сунтар, расход воды в Вилюе может уменьшиться до 0,5 м³/с.

На нижнем участке Вилюя объем летне-осеннего стока составляет 14 и 31%. Здесь в этот сезон, так же как и на предыдущем участке, наблюдаются дождевые паводки. Зимний период – самый маловодный. В течение этого периода (ноябрь – апрель) объем стока составляет всего 0,6–2,8 км³ (2–35).

Объем стока воды за май – июнь в створе Вилюйской ГЭС уменьшился в средний по водности год в 6 раз, а в период наполнения водоема (1969–1971 гг.) при работе всех четырех агрегатов I очереди ГЭС – в 5–8 раз.

В режиме реки отмечаются никогда ранее не наблюдавшиеся резкие колебания расходов воды, связанные с суточным и недельным регулированием мощностями ГЭС. Разница между крайними значениями расходов воды при суточном регулировании за 1967–1971 гг. в период весеннего половодья достигла 40–50 м³/с.

Расход воды в декабре в естественных и зарегулированных условиях

Сток	Год	Средний расход в декабре, м ³ /с		
		Пос. Чернышевский	Пос. Сунтар	Пос. Хатырык-Хомо
Естественный	1963	24	27	111
Зарегулированный	1968	138	108	78
	2019		671	820

В результате благоприятных топографических условий русла реки и наличия в 8 км от ГЭС порога «Улахан-Хаан», имеющего на протяжении 3,0 км падение почти 8 м, колебания расходов воды затухают уже на 66 км от створа ГЭС. У с. Сунтар половодье вновь формируется, но уже не достигает той величины, которая была до регулирования стока. Гидрограф половодья характеризуется стройной одновершинной формой, аналогичной ходу расходов воды рек Чонского географо-гидрологического района.

Поскольку половодье на среднем участке Вилюя в результате зарегулирования стока формируется в основном тальми водами, поступающими с Чонского географо-гидрологического района, то и продолжительность его и сроки прохождения максимального расхода стали совпадать с этими же показателями на Чоне, Улахан-Ботубуйе, Оччугуй-Ботубуйе и других реках района. Более повышенная величина модуля стока на Вилюе объясняется дополнительными базовыми расходами воды через турбины ГЭС для выработки электроэнергии. На среднем участке Вилюя в зависимости от водности года максимальные весенние расходы снизились на 2000–8500 м³/с. Сократилась и продолжительность весеннего половодья: в среднем она стала короче на 10–15 дней.

В результате регулирования стока на нижнем участке уменьшение объема весеннего половодья произошло в меньшей степени, чем на участке Вилюя выше устья Мархи, это объясняется влиянием сравнительно многоводных весенних вод рек Мархинского района. Весенний сток Вилюя у пос. Хатырык-Хомо составляет 43% вместо 62% в естественных условиях. В связи с тем, что на Вилюйском водохранилище происходит задержание весенних вод Чонского географо-гидрологического района, на участке Вилюя ниже устья Мархи произошло перераспределение стока внутри самого весеннего половодья. За июнь стало проходить 36% весеннего стока вместо 75% в прежних естественных условиях.

Летний сток на всем протяжении Вилюя от створа ГЭС до устья уменьшился, но не в такой значительной степени, как весенний. На среднем участке Вилюя у с. Сунтар объем стока за июль – август уменьшился на 42%, на нижнем участке у пос. Хатырык-Хомо – на 10%. Колебания расходов воды в этот период на среднем участке существенно отличаются от естественных. Здесь в результате зарегулирования стока летние паводки формируются только на основе осадков, выпадающих на территории водосбора боковой приточности. Продолжительность и объем их значительно сократились.

В осенний период величина стока Вилюя существенно не изменилась. Однако амплитуда колебания расходов воды за этот период значительно снизилась. В естественных условиях расход воды изменялся в среднем от 40 до 650 м³/с.

В зимний период сток Вилюя резко увеличился. Согласно графику электропотребления наибольшая выработка электроэнергии предусматривается зимой. Характер уменьшения расхода воды Вилюя в декабре в естественных и зарегулированных условиях показан в таблице.

После строительства ГЭС в холодный период на р. Вилюй наблюдается значительное повышение объема льда и возникновение наледей, которых раньше на Вилюе не наблюдалось. Толщина льда в нижнем бьефе по сравнению с бытовыми условиями намного увеличилась. Зимой 1968–1969 гг. в условиях работы четырех агрегатов ГЭС величина сбросных расходов в среднем равнялась 140 м³/с. В бытовых условиях расходы в створе ГЭС в зимний период колебались от 48 м³/с в ноябре до 4,5 м³/с в апреле. Повышенные сбросные расходы зимой способствуют росту толщины ледяного покрова путем образования наледей. Толщина льда увеличилась в 1,5–2 раза. Увеличение ее по длине нижнего бьефа неравномерно и зависит не только от величины сбросных расходов воды, но и от местных особенностей русла реки. По сравнению

с максимальной толщиной льда в средний по метеоусловиям год толщина льда зимой 1968–1969 гг. увеличилась в с. Сюльдакаре на 30, в с. Велючане – на 103, в с. Крестяхе – на 55, с. Сунтаре – на 50, г. Нюрбе – на 72, с. Верхневиллойске – на 98, и в г. Виллойске – на 49 см. Наибольшая толщина льда зимой 1968–1969 гг. была установлена у с. Вилючан (223 см). Рост толщины льда в течение зимы происходит скачкообразно.

Также в зимний период регулирование стока на р. Виллой вследствие работы Виллойской ГЭС вызвало колебание водности на р. Лена до гидропоста Кюсюр. До работы ГЭС величина стока р. Виллой на сток р. Лены составляла 3,6%, после зарегулирования Виллой расход воды в месте впадения составляет уже от 45% до 57,5% величины расхода р. Лены. При прохождении зимнего паводка до регулирования стока приращение его от предпаводочного расхода 2440 до пика 2940 м³/с составляло в среднем 500 м³/с. После регулирования эта же величина достигла 840 м³/с (2790–3630 м³/с) [4].

Исследования физико-химического режима вод Виллойского водохранилища начаты в 1969 г. До этого сведения о химическом составе воды р. Виллой (до его зарегулирования) были представлены лишь незначительными данными гидрохимической лаборатории при Якутском управлении гидрометеослужбы, относящимися к району п. Сунтар (600 км ниже существующей сейчас плотины). Систематических наблюдений над становлением химического состава воды и гидрохимического режима Виллойского водохранилища ранее не проводилось.

Основными питающими реками водохранилища являются Виллой и Чона. Под их воздействием и проходит формирование химического состава вод. Реки Виллой, Чона и Виллойское водохранилище по гидрохимическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второго типа (С^{ca}_{II}).

В первые годы формирования водохранилища (1969–1972 гг.) за счет более активного выщелачивания затопленной территории и некоторой маловодности, когда поверхностный приток составлял лишь 73–87% от нормы, наблюдалась относительно повышенная минерализация.

В начальный период заполнения ложа водохранилища наблюдалась существенная неоднородность в распределении солевого состава, что, по-видимому, обуславливалось столь же значительной неоднородностью подтопляемых почвогрунтов.

В многоводные годы, 1973–1976, поверхностный приток в водохранилище составил 116–144% от нормы, что, по-видимому, и вызвало понижение минерализации. Показатели минерализации воды по акватории водохранилища в эти годы не отличались большим разбросом, и некоторое их повышение фиксировалось лишь в подпорных участках р. Чоны. В частности, приток р. Чоны – р. Ичода имеет минерализацию от 81 до 150 мг/л; р. Бэс-Юрях – 129 мг/л; р. Марха – 140 мг/л. Все эти притоки формируют свои воды среди осадочных пород кембрийского и пермского возрастов. Они характеризуются ограниченным водным расходом и не могут оказать существенного влияния на минерализацию воды Виллойского водохранилища в целом. Влияние прослеживается на протяжении 1–2 км от устьев рек, после чего речные воды разбавлялись маломинерализованными водами водохранилища. Минерализация вод Чонского разлива все же оказалась несколько большей (64–73 мг/л), чем в остальных участках водоема (38–63 мг/л). Показатели минерализации подвержены сезонным изменениям, которые определяются в основном весенним паводком и летне-зимней меженью рек Виллой и Чоны. Максимальные показатели минерализации приходятся на зиму и осень, минимальные – на лето. С ростом минерализации воды возрастает содержание гидрокарбонатных ионов (коэффициент корреляции 0,88–0,98) и ионов кальция (коэффициент корреляции – 0,68–0,86).

Распределение гидрокарбонатов по акватории водохранилища аналогично минерализации воды. Более высокие показатели свойственны Чонскому переменному подпору (39–71 мг/л) и Чонскому разливу (30–50 мг/л), наиболее низкие – Дьелкюконскому разливу (15–30 мг/л) [4].

Плотина, образующая водохранилище, обеспечивая постоянный напор воды, изменяет естественное состояние речного стока и является ключевым фактором, определяющим его негативное воздействие на ниже лежащие экосистемы [5]. Так, сброс больших объемов высокоминерализованных вод из карьеров привел к резкому ухудшению качества воды на всем протяжении р. Виллой. По данным ФГБУ «Якутское УГМС» в 2020 г. качественный состав воды р. Виллой и его притоков оценивался как «очень загрязненные» (3-й класс, разряд «б»). По данным ГБУ РС (Я) «РИАЦЭМ» в 2020 г. качество воды р. Виллой в пределах Сунтарского улуса оценивалось 3 кл. разряда «б»,

«очень загрязненная», значение УКИЗВ 3,22. В начале февраля в воде реки нормативы превышены по содержанию железа в 3,2 раза, меди в 2,6 раза, цинка в 4,3 раза. Хозяйственно-питьевой норматив не соответствует по показателю ХПК в 2,6 раза [6].

Заключение

Вследствие работы Вилюйской ГЭС величина и режим стока Вилюя испытывают значительные изменения. Произошло уменьшение стока весеннего половодья и частично летне-осенних паводков, существенно увеличился сток воды зимней межени (основная выработка электроэнергии предусматривается в зимний период). С увеличением сброса воды в зимний период нарушаются естественные условия зимней межени, на реке наблюдается значительное повышение объема льда и наледей, а также рост минерализации воды р. Лены в месте впадения р. Вилюй (расход воды Вилюя в узле слияния с Леной увеличился от 3,6% до 57,5%). Современные гидрохимические изменения в определенной мере нивелируют биологический режим сопредельных водотоков, влияя на качество воды.

Выявленные изменения режима рек и его влияние на формирование гидрохимического состава воды, как результат взаимодействия воды с другими фазами (воздушной средой, физических процессов – на ледо-

образование и т.д.) на территории вечной мерзлоты недостаточно учитываются при комплексном использовании водных ресурсов. Такое положение вызывает настоятельную необходимость расширить исследования в этой области. Объектом изучения, как аналог, может служить р. Вилюй.

Список литературы

1. Докучаев В.В. К учению о зонах природы (1898–1900 гг.). Соч., т.п. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 592 с.
2. Ноговицын Д.Д. Географо-гидрологическое районирование и внутригодовое распределение стока р. Вилюй в естественных и зарегулированных условиях // Энергетика Якутской АССР: материалы научной сессии, посвященной 50-летию Якутской АССР и 25-летию Якутского филиала СО РАН СССР. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН ССР, 1974. С. 148–159.
3. Планета Земля. Историческая география. Вилюй река. URL: Вилюй (река) – Россия – Планета Земля (geosfera.org) (дата обращения: 09.02.2022).
4. Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Изменение гидрологического режима рек при зарегулировании их стока водохранилищами крупных ГЭС (на примере Вилюйской ГЭС) // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 26 августа 2019 года). СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 32-33.
5. Jeff Opgrand, Paul V. Preckel F.T. Sparrow, Gregory Thomas, Daniel P. Loucks. Restoring the natural flow regime of a large hydroelectric complex: Costs and considerations. Energy. 2020. Vol. 190. Issue C. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116260.
6. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2020 году. URL: (https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/2021/12/09/files/ГД_ООС_2020.pdf) (дата обращения: 09.02.2022).