



УДК 556.161; 556.51(571.54+517.3)

## **Реакция стока р. Селенги на изменение интенсивности осадков и состояния водосборного бассейна**

Е. Н. Сутырина ([ensut@rambler.ru](mailto:ensut@rambler.ru))

**Аннотация.** Приведены результаты изучения реакции стока р. Селенги на изменение климатических и бассейновых факторов. В рамках исследования было проанализировано преобразование характера внутригодового распределение стока за период с 1948 по 2013 г. и дана оценка изменения связи стока р. Селенги с интенсивностью осадков в пределах ее водосборного бассейна.

**Ключевые слова:** река Селенга, водосборный бассейн, факторы формирования стока, внутригодовое распределение стока, данные реанализа NCEP/NCAR.

### **Введение**

Река Селенга – трансграничный водный объект, является самым крупным притоком Байкала, в среднем за год она приносит в озеро около 30 км<sup>3</sup> воды, что составляет половину всего притока в озеро. Изменение водности р. Селенги неизбежно ведет к изменению уровня режима оз. Байкал со всеми вытекающими последствиями. Ввиду сказанного выше анализ реакции стока р. Селенги на изменения климатических и бассейновых факторов является актуальной задачей.

Сток представляет собой сложный процесс, обусловленный влиянием комплекса физико-географических факторов и хозяйственной деятельности [8]. Главная роль в определении величины стока, а также его изменчивости прежде всего принадлежит атмосферным факторам [3; 7; 11]. В то же время режим стока реки, а также ее водность во многом определяются природными особенностями водосборного бассейна, в пределах которого проявляется влияние факторов биосферы, гидросферы и литосферы. Таким образом, речной сток относится к многофакторным природным процессам. Действие различных природных факторов проявляется по-разному. Одни из них способствуют стеканию атмосферных осадков по земной поверхности, другие замедляют сток или вовсе исключают возможность его образования [8]. Основными факторами стока, определяющими его развитие, являются климатические. Климат воздействует на сток не только непосредственно, но и через другие природные факторы: почву, растительность, рельеф. На общем фоне воздействия климата на формирование стока и его величину проявляется влияние других, не климатических факторов: рельефа бассейна, геологического строения, степени облесенности, озерности и заболоченности и т. д. Известное

влияние оказывает также размер бассейна, его форма, а в горах – ориентация склонов по отношению к сторонам горизонта и влагоносным воздушным потокам. Влияние всех этих факторов сказывается на режиме двояко: с одной стороны, они изменяют климатические условия – осадки, температуру воздуха, испарение, а с другой стороны, влияют на добегание воды со склонов в русла и потери на инфильтрацию [8; 9].

Особое внимание при изучении факторов формирования стока должно уделяться исследованию хозяйственной деятельности, оказывающей на водные ресурсы и режим рек влияние в двух направлениях: непосредственного изменения режима стока в руслах и изменения условий влагонакопления и расходования влаги в бассейне [16]. В первом случае мероприятия включают создание плотин и водохранилищ, изъятие воды из русел на орошение, питьевые и хозяйственные нужды [2]. Во втором случае изменения происходят в результате агротехнических, лесомелиоративных и гидромелиоративных мероприятий, включающих обработку земли, посадку или вырубку лесов, орошение и обводнение в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения, осушения болот. Эти мероприятия изменяют гидрологический режим сравнительно медленно и стихийно. Влияние на водный объект посредством хозяйственной деятельности в пределах его водосбора обусловлено тем, что водосборный бассейн представляет собой систему различных по структуре и функциям ландшафтных образований, которые объединяются в ландшафтно-гидрологическую систему, и между географическим строением водосборного бассейна и функционированием гидрографической сети существует тесная связь [10; 13].

Хозяйственная деятельность, осуществляющаяся в пределах водосбора р. Селенги без соблюдения необходимых экологических требований, приводит к серьезным негативным изменениям окружающей среды: нарушению водного баланса; усилению эрозионных процессов; загрязнению вод продуктами эрозии почв и смываемыми с полей органическими веществами; изменению структуры стока в сторону увеличения поверхностного; ухудшению экологической обстановки и увеличению пожарной опасности в лесу; интенсификации селей и лавин. Часть водосбора р. Селенги на территории Монголии является наиболее плотно населенной и интенсивно осваиваемой территорией, где сосредоточены крупнейшие города Монголии, размещены горнодобывающая, металлургическая, химическая отрасли промышленности, расположены пахотные, пастбищные и сенокосные поливные земли [6; 12].

### **Материалы и методы**

Для изучения реакции стока р. Селенги на изменение климатических и бассейновых факторов в рамках данного исследования было изучено изменение внутригодового распределения стока за период с 1948 по 2013 г. и изменение связи ее стока с величиной осадков в пределах водосборного бассейна. Для этого привлекались данные о среднемесячных расходах р. Селенги в створе разъезд Мостовой.

Кроме этого, собраны данные об осадках из архива реанализа NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction / The National Center for Atmospheric Research). Реанализ NCEP/NCAR – это совместный проект Национального центра исследований окружающей среды и Национального центра атмосферных исследований США по реанализу исторических метеоданных (с 1948 г. по настоящее время) с использованием современной глобальной спектральной метеомодели и обширного массива данных глобального мониторинга атмосферы и земной поверхности (данные наземных стационарных станций, самолетов и аэрометеозондов, передвижных сухопутных и океанических метеостанций, данные дистанционного спутникового зондирования). Данные находятся в свободном доступе на сайте ESRL (The Earth System Research Laboratory) в формате NetCDF (Network Common Data Form) – двоичном формате файлов, призванном обеспечить хранение и обработку данных в переносимом и самоопределяемом виде и являющимся стандартом для обмена научными данными. В работе привлекались данные проекта NCEP/NCAR о средней за месяц интенсивности осадков, предоставляемые в узлах регулярной сетки  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Для оценки негативных изменений, происходящих в пределах водосборного бассейна р. Селенги, задействовались картографические материалы, составленные автором на основании анализа данных прибора AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) и подробно описанные в [14; 15].

### Основные результаты

Климатические данные реанализа NCEP/NCAR свидетельствуют об уменьшении по водосбору р. Селенги в среднем на 11 % величины интенсивности осадков за весь период с 1948 по 2013 г. (рис. 1, *A–B*). Кроме этого, в пределах той же территории наблюдается увеличение температуры воздуха в среднем на 1,2 К (рис. 1, *Г–E*), а вместе с ростом температуры должно происходить увеличение зависящей от нее величины испаряемости, т. е. потенциально возможного (не лимитируемого запасами воды) испарения в данной местности.

При изучении трансграничного водосбора р. Селенги, имеющего существенные размеры около 447 600 км<sup>2</sup>, наиболее оправданно использование материалов дистанционного зондирования Земли. В ходе проведенного ранее исследования состояния подстилающей поверхности водосбора р. Селенги по данным AVHRR [14; 15] было выявлено наличие интенсивной трансформации ландшафтов (рис. 2), проявляющейся за период только с 1999 по 2012 г. в значительном сокращении площади, занимаемой густыми лесами, на 17 % и увеличении площади степей на 21 %.

Сохранение выявленных темпов деградации ландшафтов неизбежно приведет к существенному сокращению гидрографической сети и изменению водного режима сначала малых рек, а затем к изменению водного режима самой р. Селенги.

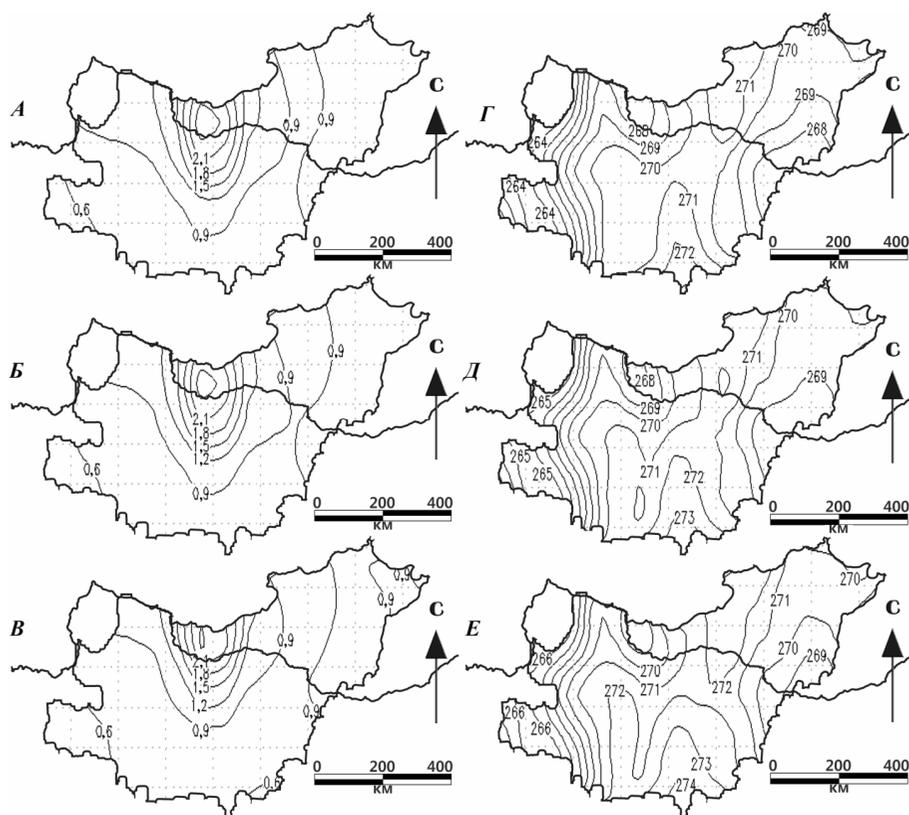
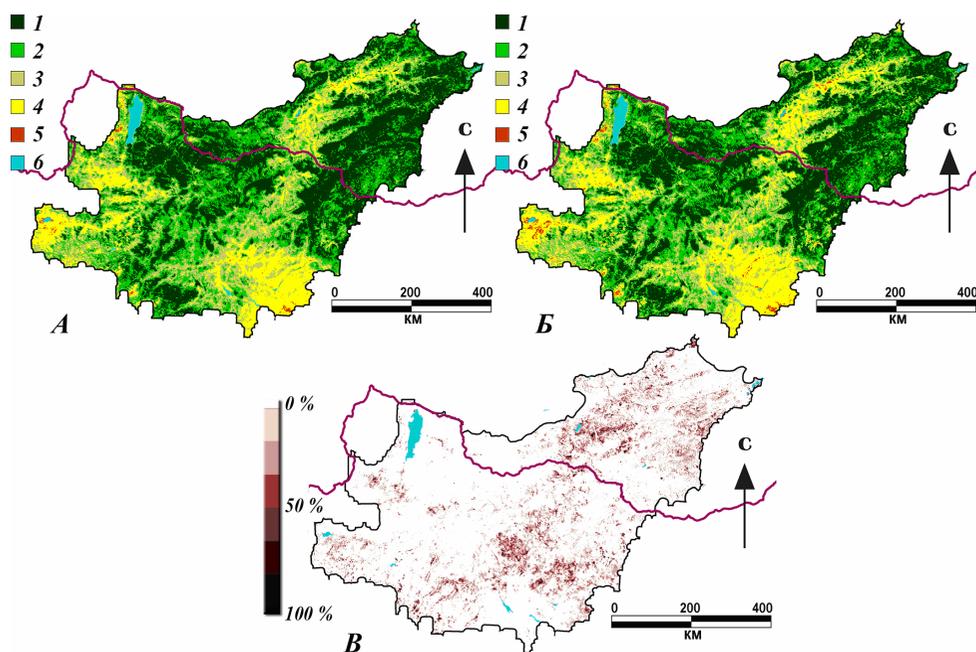


Рис. 1. Средние многолетние значения интенсивности осадков, мм/сут. (А – за период с 1948 по 1969 г.; Б – за период с 1970 по 1991 г.; В – за период с 1992 по 2013 г.) и температуры воздуха на высоте 2 м, К (Г – за период с 1948 по 1969 г.; Д – за период с 1970 по 1991 г.; Е – за период с 1992 по 2013 г.) в пределах водосбора р. Селенги, по данным реанализа NCEP/NCAR

Для анализа изменений параметров водного режима р. Селенги вслед за изменением климатических и бассейновых факторов массив данных об осадках и расходах был поделен на 3 подмассива: с 1948 по 1969 г., с 1970 по 1991 г. и с 1992 по 2013 г. Далее для каждого из указанных периодов были построены кривые зависимости расходов от осадков со сдвигом 1 мес. с учетом среднего времени добегания по скользящим средним значениям данных величин за 5 мес., что обусловлено генетическими особенностями формирования стока и регулирующим и аккумулирующим влиянием речного бассейна, особенно в холодное время года (рис. 3).

Данные графики демонстрируют (см. рис. 3) снижение величин расходов при одинаковых величинах осадков за каждый из рассматриваемых периодов по сравнению с предыдущими. При этом наиболее выраженные изменения произошли именно за последний период – с 1992 по 2013 г. Кроме того, в более поздние периоды наблюдается все большее отклонение графиков зависимостей от прямой линии.



*Рис. 2.* Распределение типов подстилающей поверхности в пределах водосборного бассейна р. Селенги в 1999 г. (А), 2012 г. (Б) и карта с изображением нарушений подстилающей поверхности за 1999–2012 гг. (В): 1 – тайга и смешанный лес (густая растительность); 2 – тайга и смешанный лес (разреженная растительность); 3 – лесостепь, кустарниковая растительность; 4 – степь, сельскохозяйственные угодья, луговая растительность; 5 – заболоченные участки, открытая почва, пустыни, полупустыни, крупные населенные пункты; 6 – вода [14; 15]

Также в более ранний период – с 1948 по 1969 г. кучность точек несколько выше, чем в последующие периоды. Большая кучность точек в данном контексте говорит о меньшем диапазоне возможных расходов при одной и той же величине осадков и может соотноситься с большей регулирующей способностью бассейна в период с 1948 по 1969 г. и постепенным снижением этой способности в более поздние периоды в связи с характерным для негативных изменений подстилающей поверхности увеличением склоновой составляющей стока.

В целом полученные зависимости и характер распределения точек показывают, что произошло понижение расходов при одних и тех же значениях, что вполне соотносится с увеличением расходных статей водного баланса, происходящим вследствие как увеличения температуры, так и деградации ландшафтов и нерационального ведения лесного и сельского хозяйства. Для исследования данных проявлений, помимо оценки изменения характера связи расходов с осадками, в работе также анализировалось преобразование внутригодового изменения стока указанных водотоков в указанные периоды.

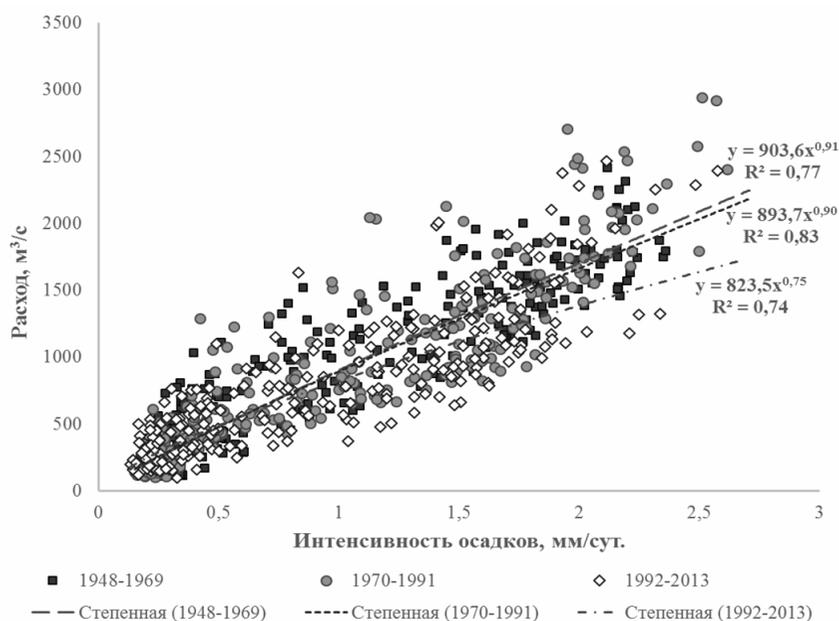


Рис. 3. Графики зависимости скользящих средних за 5 мес. значений расходов р. Селенги в створе разъезд Мостовой и осадков, осредненных по всем узлам в пределах водосбора р. Селенги с учетом времени добегания

В практике гидрологических расчетов внутригодичное распределение стока обычно оценивается для лет с водностью, наиболее близкой к характерной. Поэтому в рамках данной работы было определено внутригодичное распределение методом реального года [1; 4; 5] для многоводных (обеспеченностью 10 и 25 %), средневодных (50 %) и маловодных (75 и 90 %) лет.

Ниже на рис. 4–6 приведено внутригодичное распределение стока в многоводные, средневодные и маловодные годы в створе разъезд Мостовой на р. Селенге за периоды с 1948 по 1969 г. (см. рис. 4), с 1970 по 1991 г. (см. рис. 5) и с 1992 по 2013 г. (см. рис. 6), оцененное в ходе исследования.

На данных столбчатых диаграммах явно прослеживается последовательное снижение регулирующей способности бассейна за указанные периоды времени. При этом видно, что за период с 1948 по 1969 г. при любой водности сток с мая по сентябрь имеет близкие значения в долях от стока за год. В последующие периоды начинает более выражено проявляться повышение стока в отдельные месяцы, особенно в годы с высокой и средней водностью. Значительнее всего обнаруживается снижение регулирующей функции бассейна в период с 1992 по 2013 г., в годы с высокой водностью (обеспеченностью 10 %).

На диаграммах (рис. 7–9), отображающих внутригодичное распределение осадков в годы с водностью, близкой к заданной, видно, что существенных различий в распределении осадков во все указанные периоды не наблюдается, а в период с 1992 по 2013 г. пики даже менее выражены.

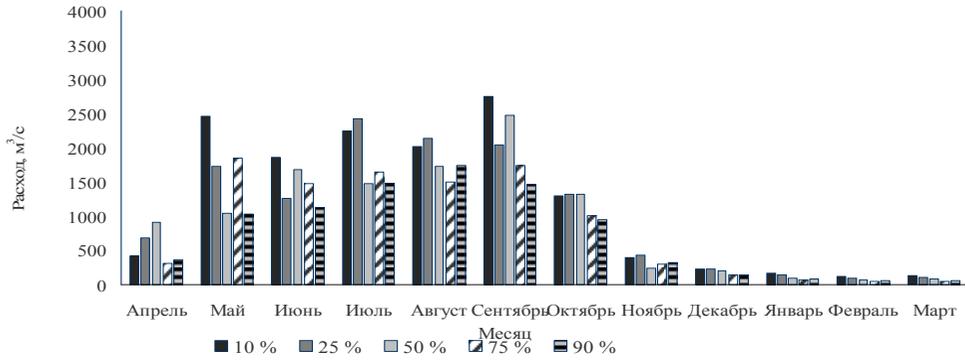


Рис. 4. Внутригодовое распределение стока р. Селенги в створе разъезд Мостовой в годы с различной водностью за период с 1948 по 1969 г.

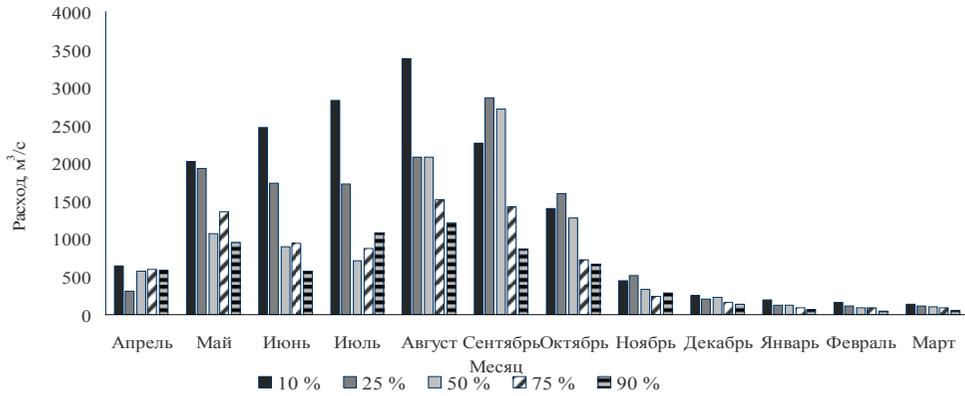


Рис. 5. Внутригодовое распределение стока р. Селенги в створе разъезд Мостовой в годы с различной водностью за период с 1970 по 1991 г.

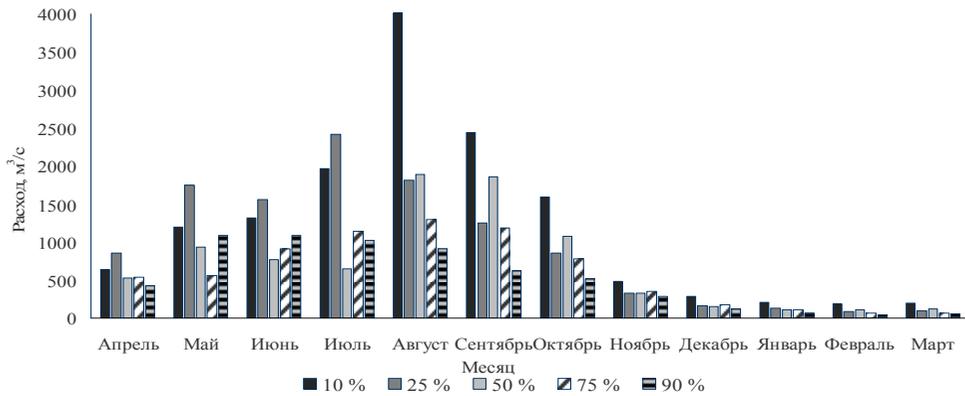


Рис. 6. Внутригодовое распределение стока р. Селенги в створе разъезд Мостовой в годы с различной водностью за период с 1992 по 2013 г.

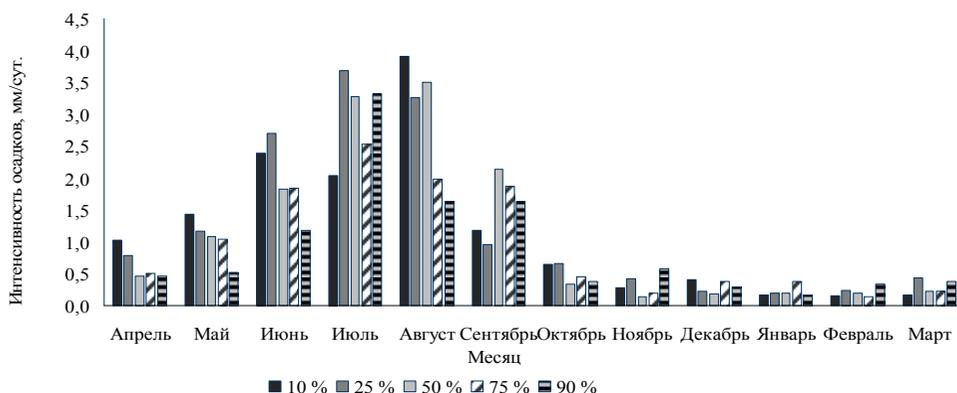


Рис. 7. Внутригодовое распределение средних на территории водосборного бассейна осадков в годы с различной водностью за период с 1948 по 1969 г.

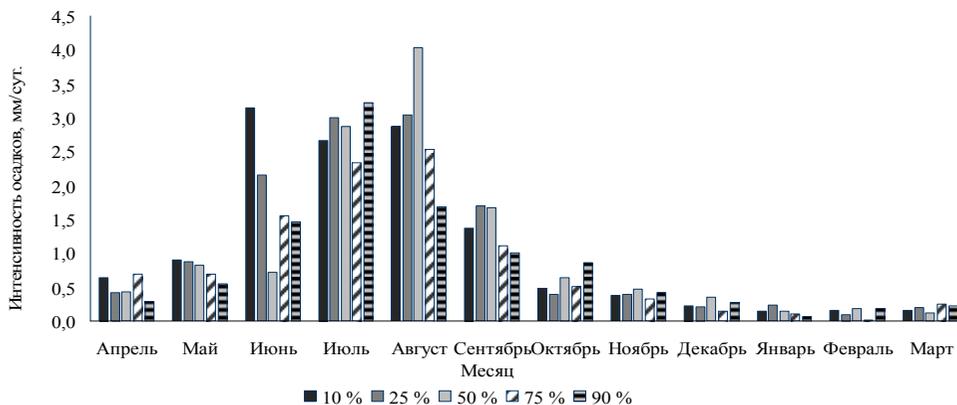


Рис. 8. Внутригодовое распределение средних на территории водосборного бассейна осадков в годы с различной водностью за период с 1970 по 1991 г.

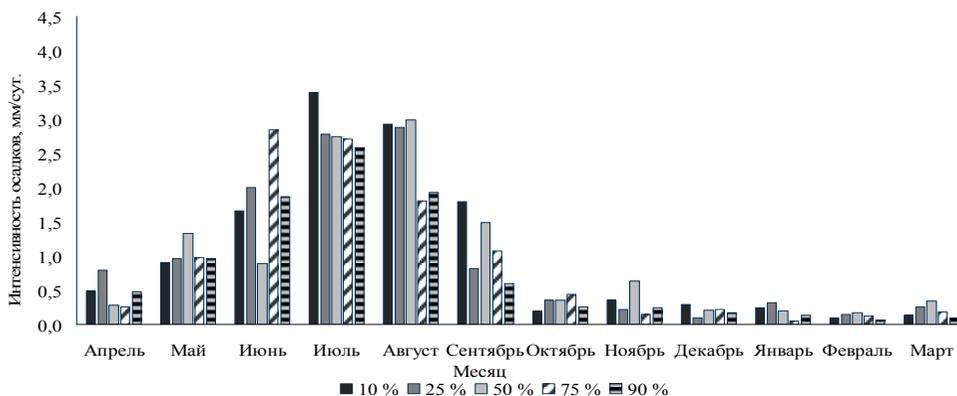


Рис. 9. Внутригодовое распределение средних на территории водосборного бассейна осадков в годы с различной водностью за период с 1992 по 2013 г.

Таким образом, значительное изменение во внутригодовом распределении стока р. Селенги не связано с внутригодовым распределением осадков, которое не претерпело каких-либо существенных перемен.

Возможное объяснение трансформации внутригодового распределения стока может заключаться в увеличении склонового стока под влиянием деградации ландшафтов, которое может негативно сказываться как на величине годового стока, так и на его внутригодовом распределении и привести к уменьшению регулирующей роли водосборного бассейна.

При значительной величине водосборного бассейна, как у р. Селенги, в условиях, приближенных к естественным, должна в значительной степени проявляться его роль как регулятора стока, так как в пределах такого большого водосбора количество и режим поступления на его поверхность талых и дождевых вод становится значительно разнообразнее. Кроме того, с увеличением размеров бассейна возрастает длина путей движения воды по речной сети и время добегания воды через толщу почв и горных пород, возрастают глубина вреза речного русла и относительный объем подземного стока в общей его величине. В некоторой степени водосборный бассейн таких размеров может осуществлять не только внутригодовое, но и многолетнее регулирование речного стока. В многоводные годы в большей степени пополняются запасы почвенных и грунтовых вод, часть которых переходит на следующий год.

Исследования влияния типа подстилающей поверхности в пределах водосбора на сток [7; 8; 9] показали, что в лесу в целом водопроницаемость почвы выше, чем в поле. Этому способствует как мощная корневая система деревьев и подлеска, так и лесная подстилка. Значительная роль принадлежит также богатым гумусом, рыхлым, частично оструктуренным верхним слоям почвы в лесах. Лесная подстилка обладает большой влагоемкостью и предохраняет почвенные поры от заиливания. Склоновый сток как снеговых, так и дождевых вод в лесу крайне мал. Это является следствием хорошей инфильтрационной способности лесных почв. Просачиванию воды в почву весной способствуют также относительно меньшая интенсивность снеготаяния весной и глубина промерзания почвы зимой по сравнению с полем. Часто дожди, вызывающие хорошо выраженные паводки в речных бассейнах, лишенных леса, в лесу не образуют паводочного стока. В лесу питание грунтовых вод более обильное, чем в поле. При дренировании подземных вод речной сетью это приводит к увеличению грунтового стока в реки и повышению меженного стока. В этом большое водоохранное и регулирующее значение леса.

Рубки леса, выпас скота нарушают лесную подстилку, ухудшают инфильтрационную способность почв и видоизменяют водный баланс. Степень этого влияния различная. После механизированных рубок с применением трелевочных тракторов водоохранное значение лесов даже с возобновлением древостоев надолго ослабляется вследствие ухудшения водорегулирующей способности лесных почв [8; 9].

Таким образом, в результате дефорестации и остепения ландшафтов, выявленных в ходе исследования, происходит увеличение максимальных расходов половодья и паводков при уменьшении их продолжительности. В связи с этим увеличивается опасность катастрофических наводнений, эрозии и смыва почвы. Сток при этом в целом уменьшается, но становятся более выраженными пики экстремальных расходов, а распределение в году оказывается менее выровненным за счет уменьшения роли подземных вод и их поступления и в целом снижения регулирующей роли бассейна, что и наблюдается при сопоставлении внутригодового распределения стока р. Селенги в различные периоды.

### Выводы

В ходе исследования выявлены значительные изменения климатических и бассейновых факторов, приведшие к существенной трансформации внутригодового распределения стока р. Селенги и изменению характера зависимости ее расхода от осадков.

Таким образом, сочетание изменения климатических характеристик с нерациональной хозяйственной деятельностью уже привели к негативным преобразованиям параметров стока р. Селенги всего за период с 1948 по 2013 г.

На фоне уже имеющихся негативных изменений стока р. Селенги планируемые мероприятия, включающие создание ряда плотин и водохранилищ на р. Селенге и ее притоках [17; 18]: Эгийн-гол, Тола, Дэлгэр-Мурен и Орхон, в том числе для переброски стока из указанной водной системы в пустыню Гоби, могут стать причиной дальнейшего усугубления сложившейся ситуации как на указанных водотоках, так и в самом оз. Байкал, и должны быть всесторонне изучены на предмет негативного влияния на гидрологический режим данных водных объектов до начала их реализации.

### Список литературы

1. *Бельчиков В. А.* Расчет гидрографа половодья с учетом динамики потерь стока // Тр. Гидрометцентра СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – Вып. 72. – С 23–33.
2. *Важнов А. Н.* Гидрология рек / А. Н. Важнов. – М. : Изд-во МГУ, 1976. – 239 с.
3. *Великанов М. А.* Гидрология суши / М. А. Великанов. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 455 с.
4. *Владимиров А. М.* Гидрологические расчеты / А. М. Владимиров – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 360 с.
5. *Горошков И. Ф.* Гидрологические расчеты / И. Ф. Горошков – Л. : Гидрометеиздат, 1979. – 431 с.
6. *Гулгонов В. Г.* Влияние отраслей народного хозяйства Республики Бурятия на состояние окружающей природной среды / В. Г. Гулгонов, Н. Г. Рыбальский. – М., 1996. – 220 с.
7. *Давыдов Л. К.* Общая гидрология / Л. К. Давыдов, А. П. Дмитриева, Н. Г. Конкина. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 462 с.
8. *Комлев А. М.* Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / А. М. Комлев. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2002 – 157 с.

9. *Комлев А. М.* Исследования речного стока. Избранные труды / А. М. Комлев. – Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2006. – 308 с.
10. *Копысов С. Г.* Ландшафтная гидрология геосистем лесного пояса Центрального Алтая : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / С. Г. Копысов. – Томск, 2005. – 18 с.
11. *Корень В. И.* Построение математической модели формирования дождевых паводков / В. И. Корень, Л. С. Кучмент // Тр. Гидрометцентра СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – Вып. 72. – С. 3–22.
12. *Лехатинов А. М.* Экогеологическая обстановка и основные особенности изучения ее состояния в бассейне озера Байкал [Электронный ресурс] / А. М. Лехатинов. – URL: <http://council.gov.ru/files/journalsf/item/20061208111915.pdf>.
13. *Семенов В. А.* Ресурсы пресной воды и актуальные задачи гидрологии // Сорос. образов. журн. – 1996. – № 10. – С. 63–69.
14. *Сутырина Е. Н.* Изучение негативных изменений подстилающей поверхности в пределах водосбора озера Байкал // Междунар. науч.-исслед. журн. = Research Journal of International Studies. – 2014. – № 1–3 (20). – С. 92–94.
15. *Сутырина Е. Н.* Оценка трансформации ландшафтов в пределах водосборного бассейна оз. Байкал с применением данных дистанционного спутникового зондирования // Приволж. науч. вестн. – 2014. – № 2 (30). – С. 195–197.
16. *Шикломанов И. А.* Влияние хозяйственной деятельности на речной сток / И. А. Шикломанов. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 334 с.
17. *Mongolia seeks Orkhon River dam construction study including hydropower.* – URL: <http://www.hydroworld.com/articles/2008/01/mongolia-seeks-renewable-energy-development-consultant.html>.
18. *Mongolia awards engineering contract for 210-MW Egiin.* – URL: <http://www.hydroworld.com/articles/2007/09/mongolia-awards-engineering-contract-for-210-mw-egiin.html>.

## The Response of Runoff of the Selenga River on Changes of Rainfall Rate and the State of the Catchment Area

E. N. Sutyryna

**Abstract.** The results of the studying of the response of runoff of the Selenga River on changes of climatic and basin factors are presented in this paper. The changing of features of intra-annual runoff distribution for the period from 1948 to 2013 has been analyzed and the transformation of relations of runoff of the Selenga River with the precipitation rate within its drainage basin has been estimated in this research.

**Keywords:** Selenga River, drainage basin, factors affecting runoff, intra-annual runoff distribution, NCEP/NCAR data reanalysis.

*Сутырина Екатерина Николаевна*  
кандидат географических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
664033, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (395-2) 52-10-72

*Sutyryna Ekaterina Nikolaevna*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003  
tel.: (395-2) 52-10-72