



УДК 911.2
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.17>

Гидрологический режим реки при изменении ландшафтной структуры водосбора (на примере реки Голоустной)

О. В. Гагаринова, Д. Е. Раздобарин

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Рассмотрена взаимосвязь внутригодового режима стока реки и изменений ландшафтной структуры водосбора за 2000–2019 г. Предложена оценка величины ландшафтных трансформаций на основе данных о глобальных изменениях лесного покрова в мире в XXI в. – High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Проведен анализ динамики характеристик стока, осадков и площадей нарушенных ландшафтов. Зависимость гидрологического режима реки от структурных трансформаций ландшафтов водосбора выявлена для фазы максимального дождевого стока. Установлено увеличение расходов воды в реке на фоне общего снижения осадков, что свидетельствует об изменении ландшафтно-гидрологических свойств водосбора. В результате существенного сокращения площадей горно-таежных темнохвойных ландшафтов, обладающих значительными стокорегулирующими функциями в формировании гидрологического режима территории, возросли величины подъемов дождевых паводков. Отмечена актуальность исследования ландшафтно-гидрологических трансформаций водосборов с целью оптимизации природопользования и снижения негативного воздействия природных вод.

Ключевые слова: ландшафтная структура, гидрологический режим, водосбор, данные ДЗЗ.

Для цитирования: Гагаринова О. В., Раздобарин Д. Е. Гидрологический режим реки при изменении ландшафтной структуры водосбора (на примере реки Голоустной) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 17–27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.17>

Введение

Гидрологический режим всех водных объектов находится в неразрывной связи с компонентами ландшафта, в пределах которого он формируется. Ландшафты водосборного бассейна водного объекта обладают устойчивым набором свойств и процессов, определяющих функционирование данного природного комплекса на протяжении длительного периода времени, в котором массо- и энергообмен обеспечиваются влагопереносом, т. е. гидрологическими процессами. Растительность, почвенно-грунтовый покров, морфологические особенности местности являются непосредственными факторами процесса преобразования атмосферного увлажнения в сток. Осадки, поступающие на поверхность водосбора, под воздействием местных ландшафтных условий трансформируются в поверхностный и подземный сток,

частично расходятся на транспирацию и испарение. Эти ландшафтно-гидрологические процессы, вслед за климатическими факторами, являются основными условиями формирования гидрологического режима водного объекта.

Изменения ландшафтной структуры водосбора как естественного, так и антропогенного характера ведут к трансформациям сложившихся ландшафтно-гидрологических процессов, к изменениям условий поступления атмосферной влаги в дренирующий водный объект. В зависимости от изменений условий формирования стока происходят изменения и гидрологического режима водного объекта в целом.

Исследование взаимосвязей между структурными трансформациями ландшафтов водосбора и изменениями режима стока реки являются актуальными и перспективными в вопросах оптимизации природопользования на водосборах и минимизации ущерба от природных вод.

Объекты и методы

Теоретические позиции взаимосвязей режима реки и структуры ландшафтов водосбора обоснованы в ландшафтно-гидрологическом подходе, рассматривающем бассейн как совокупность различных ландшафтных ареалов, каждый из которых вносит индивидуальный вклад в формирование качественных и количественных характеристик стока данной территории [Антипов, Федоров, 2000; Гидрологические исследования ... , 1986; Глушков, 1961; Ландшафтно-гидрологический ... , 1992; Субботин, 1967].

Исследования зависимости гидрологического режима водотока от изменений ландшафтной структуры водосбора проведены для притока западного побережья оз. Байкал – р. Голоустной за период 2000–2019 гг. Река формируется на северном склоне Приморского хребта, имеет длину 122 км и площадь водосбора 2300 км². Для внутригодового режима характерны высокие дождевые паводки, которые обычно превосходят весеннее половодье [Государственный ... , 1986]. В среднем сток талых вод в годовом объеме составляет около 30 %, а паводочных достигает 55 %. Наименьший сток отмечается в зимнюю межень – 3 %, за период летне-осенней межени проходит 13 % годового стока [Ресурсы ... , 1973]. Средний годовой расход реки составляет 8,65 м³/с при максимальных расходах более 300 м³/с.

Ландшафтная структура бассейна реки представлена темнохвойными и светлохвойными горно-таежными, подгорными светлохвойными и степными сообществами. На возвышенных поверхностях и склонах северных и центральных частей водосбора присутствуют темнохвойные леса, которые сменяются на более низких и пологих участках сосновыми, лиственнично-сосновыми и лесостепными комплексами. Террасы, пологие склоны долины и дельтовую устьевую область занимают степные, лугово-степные и кустарниково-травяные комплексы, сочетающиеся с участками лугово-болотных ландшафтов.

Анализ изменений ландшафтной структуры водосбора основан на картографических материалах [Ландшафты юга ... , 1977] и данных ДЗЗ (Global

Maps), по которым произведена инвентаризация трансформаций ландшафтов водосбора за выбранный период [Истомина, 2017; High-resolution global maps, 2013]. С помощью программного комплекса QGIS, SRTM-снимков (цифровая модель рельефа) и топографических карт векторизована гидрографическая сеть и определены границы водосбора реки. Ландшафтные ареалы в бассейне реки выделены в соответствии с картой «Ландшафты юга Восточной Сибири» (рис. 1).

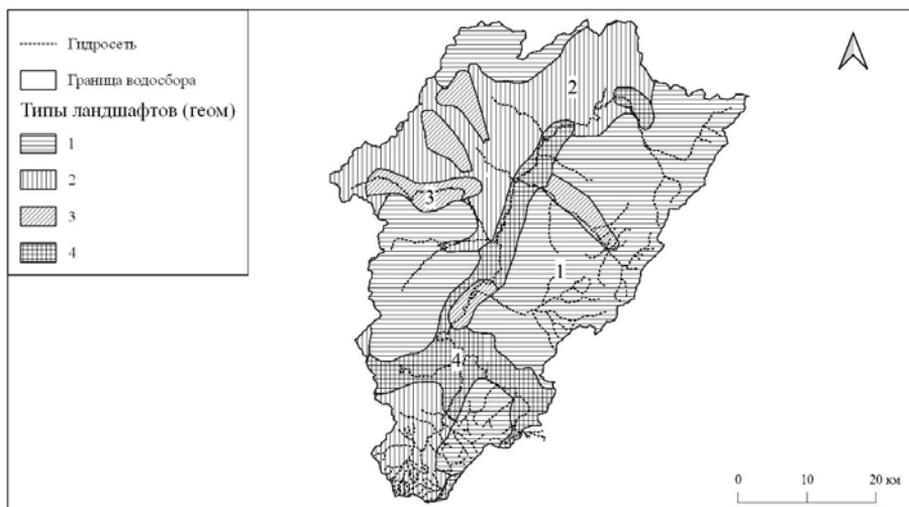


Рис. 1. Ландшафты водосбора р. Голоустной: 1 – возвышенностей и склонов темнохвойные зеленомошные, 2 – склоновые светлохвойные с кустарниковым подлеском и травяным покровом, 3 – лугово-болотные межгорных понижений и долин, 4 – светлохвойные склонов и равнин остепненные, долинные луга со злаковым покровом

Оценка изменения структуры ландшафтов проводилась в два этапа. На первом этапе была предпринята попытка выделить трансформированные территории на основе обработки отдельных мультиспектральных снимков Landsat, которая не была реализована в связи с недостаточностью «корректных» снимков, пригодных для дешифрирования. На втором этапе были использованы материалы, отображающие глобальные изменения лесного покрова в мире в XXI в. [High-resolution ... , 2013], основанные на обработке снимков Landsat с пространственным разрешением 30 м. Материалы о глобальном изменении лесного покрова представлены в виде одного растрового слоя, в котором хранится информация о ежегодных потерях лесного покрова за период с 2000 по 2020 г. Определение «лесной покров», используемое в оригинальном изложении авторами методики [Там же], подразумевает все виды растительности выше 5 м, а «потери» покрова включают радикальные нарушения плотности кроны (разреживание) или ее полное удаление в масштабе снимков Landsat. Положительные отзывы и примеры использования данных материалов подтверждают возможность их применения для оценки изменений ландшафтов водосбора за выбранный период [Раевский, Тара-

сенко, 2019; Тарасов, 2020]. По этим материалам выполнена фактическая оценка площадей ландшафтов водосбора, трансформированных в результате вырубки лесов, лесных пожаров, распашки и т. д. за 2000–2019 гг.

Анализ изменений режима стока реки выполнен статистическими методами на основании данных о средних годовых, максимальных и летних минимальных расходах воды в замыкающем створе р. Голоустной; сумм годовых и летних осадков на ст. Большое Голоустное [Автоматизированная информационная ... , 2021; Единый государственный ... , 2021].

Результаты и обсуждения

В соответствии с картой [Ландшафты юга ... , 1977] на территории водосбора представлено девять видов ландшафтов. Для целей работы данные ландшафты объединены в четыре группы по видовому составу растительности, морфоструктурным характеристикам и однородным гидрологическим свойствам, что позволяет говорить об идентичных гидрологических функциях ландшафтов одной группы в формировании гидрологического режима водосбора (см. рис. 1) [Антипов, Федоров, 2000; Гагарина, Антипов, 2003; Гагарина, 2012].

Доля площади бассейна реки, подвергшаяся значительным нарушениям и изменениям структуры ландшафтов, составляет более 20 % от общей площади бассейна (табл.).

Таблица

Изменения площадей ландшафтов водосбора р. Голоустной за 2000–2019 гг.

№	Тип ландшафтов (геом)	Площадь ландшафтного выдела			Доля площади ландшафтов в общей площади водосбора (%)	Доля площади трансформированных ландшафтов в общей площади водосбора (%)
		Общая, км ²	Трансформированная			
			км ²	%		
1	Возвышенностей и склонов темнохвойные зеленомошные	1151	220	19	50	10
2	Склоновые светлохвойные с кустарниковым подлеском и травяным покровом	630	123	20	28	5
3	Долинные лугово-болотные	183	83	45	8	4
4	Склоновые и равнинные светлохвойные со злаковым покровом и остепненные	314	35	11	14	2
5	Площадь населенных пунктов		4			0,2

В бассейне реки преобладают горно-таежные темнохвойные водораздельных поверхностей и склонов зеленомошные ландшафты (см. рис. 1), которые являются в наибольшей степени стокорегулирующими, обеспечивая достаточно равномерную водоотдачу в речную сеть [Гагаринова, Антипов, 2003; Гагаринова, 2012]. Именно в зоне распространения этих ландшафтов зафиксированы наибольшие нарушенные территории – 10 % от площади водосбора (см. табл.).

Таежные светлохвойные типы ландшафтов – сосновые и лиственничные кустарничково-травяные преимущественно на дерновых лесных и дерново-подзолистых средне- и сильнокаменистых почвах – широко представлены на вершинах и склонах среднего течения реки (уклоны от 6–13 до 20–26°). В данных ареалах происходит наиболее интенсивное формирование склонового и грунтового стока. Изменениями затронуты 20 % площади данных ландшафтных комплексов (см. табл.).

В межгорных понижениях и в долинах притоков присутствуют лугово-болотные комплексы, обладающие значительными аккумулятивными свойствами. Формирование стока в этих ландшафтах возможно лишь в периоды экстремально высокой водности. Площадь данных ландшафтов на водосборе невелика, но изменениями трансформирована их значительная часть – 45 % (см. табл.).

Пологие склоны вдоль главного русла реки и речные террасы, занятые лесостепными ландшафтами, характеризуются низкими аккумулятивными свойствами и выполняют транзитную гидрологическую функцию. В лесостепных и степных низкогорных и подгорных участках формирование стока возможно в виде временных водотоков и лишь при выпадении значительных интенсивных осадков. Структурные изменения в данных ландшафтах распространены незначительно (см. табл.).

Анализ ландшафтно-гидрологической организации водосбора позволяет констатировать, что основные черты гидрологического режима р. Голоустной и ее притоков формируются в горно-таежных темнохвойных и подгорных светлохвойных ландшафтах [Экологически ..., 1997]. Следовательно, структурные изменения данных ландшафтов оказывают наибольшее влияние на изменение режима стока рек. Трансформация ландшафта обуславливает преобразования его стокоформирующих и стокорегулирующих свойств за счет снижения влагоемкости почвенно-грунтового слоя и напочвенного растительного покрова, повышения испарения и активизации поверхностного стока, что усиливает внутригодовые колебания стока и приводит к росту пиков паводков. На территориях с нарушенными ландшафтами происходит перестройка водно-балансовых параметров и в целом изменение гидрологической организации территории.

Для бассейна р. Голоустной выполнен анализ взаимосвязей стока, осадков и изменений площадей ландшафтов. Графики связи демонстрируют однонаправленные тренды среднего годового и минимального стока в замыкающем створе реки и сумм осадков на водосборе (рис. 2).

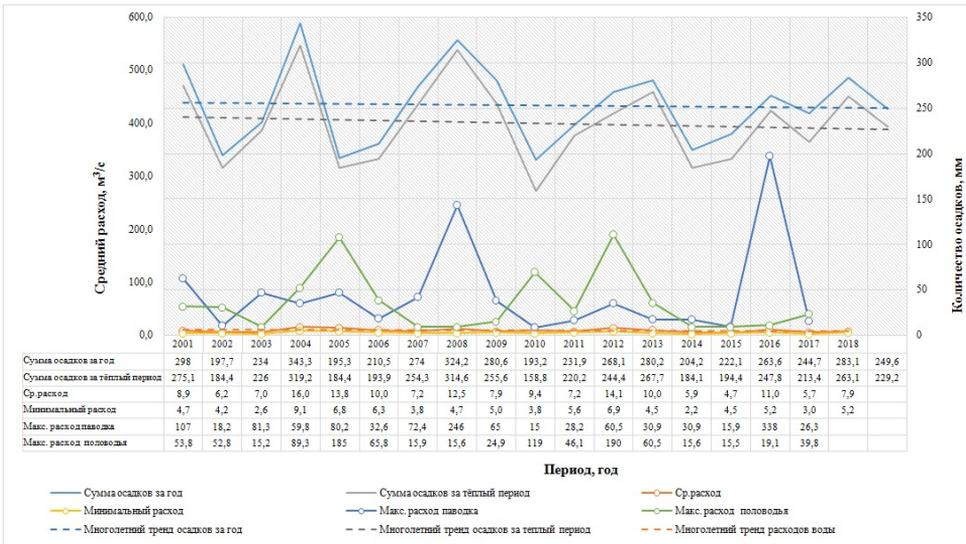


Рис. 2. Динамика средних, минимальных и максимальных годовых величин стока р. Голоустной и осадков по ст. Б. Голоустное

Но прямая зависимость стока и осадков нарушается для величины максимального паводка, что можно объяснить изменениями условий стоко-формирования на водосборе (рис. 3).

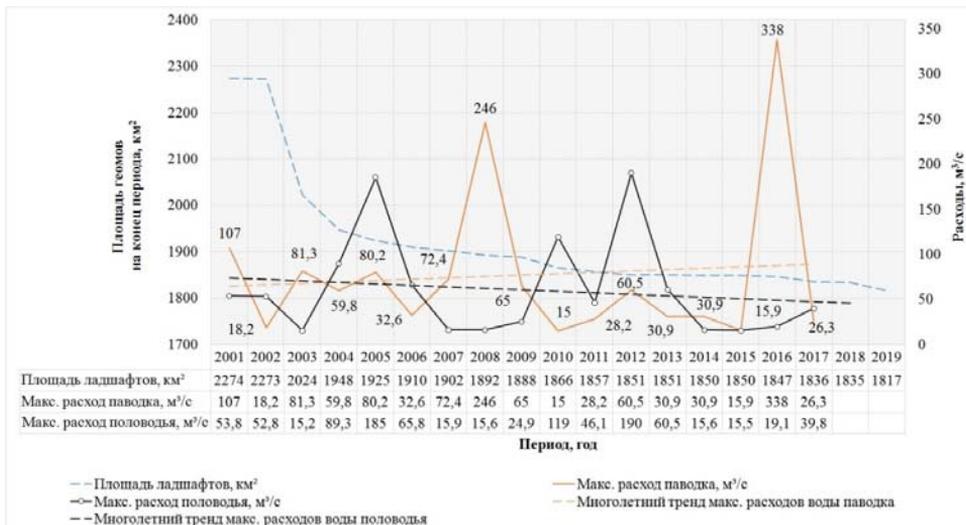


Рис. 3. Динамика максимальных расходов половодья и паводка р. Голоустной (створ д. Б. Голоустное) и изменение площади ненарушенных ландшафтов водосбора

Основную роль в перераспределении дождевой влаги, в ее задержании на водосборе играют темнохвойные зеленомошные ландшафты различного местоположения, которые подверглись в данном случае наибольшим трансформациям. Можно говорить, что уничтожение темнохвойных лесов коренным образом изменило ландшафтно-гидрологические процессы на этих участках, снизило аккумулярующие и стокорегулирующие свойства и способствовало процессам активизации поверхностного склонового стока. Темнохвойные ландшафты задерживали значительные объемы влаги, снижая максимальные пики паводков и впоследствии постепенно отдавая ее, поддерживая сток в периоды межени [Гагаринова, Антипов, 2003; Гагаринова, 2012; Экологически ... , 1997]. Нарушения ландшафтов, трансформация напочвенного растительного покрова ликвидировали возможность задержания влаги в моховой подстилке и транспирацию ее лесной растительностью, ослабили процесс фильтрации влаги в почву, что в итоге повысило склоновый сток дождевых вод и ускорило поступление его в речную сеть. Измененные ландшафтные комплексы приобрели транзитные гидрологические свойства, способствующие росту максимальных значений паводочного стока [Антипов, Федоров, 2000; Гидрологические ... , 1986; Экологически ... , 1997].

Определенный вклад в изменение ландшафтно-гидрологической организации бассейна внесли трансформации долинных лугово-болотных и подгорных светлохвойных ландшафтов. Заболоченные долины в бассейне р. Голоустной занимают небольшую площадь, но обладают высокими влагоудерживающими свойствами, аккумулируя поступающую со склонов влагу и в определенной степени снижая пики паводков. Склоновые светлохвойные ландшафты на каменистых маломощных почвах в условиях потери древесной растительности усилили свою транзитную функцию, сократив транспирационные возможности. Нарушения данных ландшафтов также способствовало снижению общей аккумулятивно-регулирующей способности водосбора.

Заключение

Выполненный анализ для бассейна р. Голоустной подтверждает основную ландшафтно-гидрологическую закономерность: внутригодовая изменчивость стока реки является результатом сочетания климата и функционирования природного комплекса водосбора. Анализ результатов исследования показал, что рост максимального дождевого стока является прямым следствием существенного изменения гидрологической роли ландшафтов водосбора, уменьшения их стокорегулирующей способности. Значительное сокращение или вовсе уничтожение лесной растительности создает благоприятные условия «быстрого» склонового стока.

Следует отметить, что зависимость гидрологических характеристик от ландшафтных изменений проявляется во все фазы стока. Очень существенна она для минимального стока, поскольку нарушения естественных ландшафтов увеличивают поверхностную составляющую стока, сокращая объемы фильтрации влаги в почвенно-грунтовые слои, что в итоге способствует

снижению минимального стока, который формируется главным образом грунтовыми водами. В проведенной оценке за период 2000–2019 гг. многолетнее снижение атмосферного увлажнения и ограниченные возможности использованных программных средств (MS Excel) не позволили выявить зависимость минимального стока от ландшафтных трансформаций. Такой анализ планируется выполнить в перспективе на базе программного пакета «Стохастическое моделирование» [Игнатов, 2018], реализация которого позволит произвести пространственно-временную оценку вклада различных факторов в формирование стоковых характеристик р. Голоустной.

Возможности ландшафтно-гидрологического анализа и методы оценки ландшафтных трансформаций с использованием ГИС-технологий на основе данных о глобальных изменениях лесного покрова в мире в XXI в. представляют простой инструмент, позволяющий оперативно решать практические задачи по обоснованию изменений гидрологических процессов в бассейнах рек, прогнозированию опасных гидрологических явлений и минимизации их последствий.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190059-5)

Список литературы

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО): сайт. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=134&type=word> (дата обращения: 18.02.2021).

Антипов А. Н., Федоров В. Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 254 с.

Гагаринова О. В., Антипов А. Н. Ландшафтно-гидрологический подход к оценке стока территории Лено-Ангарского междуречья // Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН. 2003. С. 132–144. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27420926>

Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 55–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17952016>

Гидрологические исследования ландшафтов / под ред. Г. В. Бачурина, Л. М. Корытного. Новосибирск: Наука, 1986. 207 с.

Глушков В. Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М.: АН СССР, 1961. 70 с.

Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши / ред. Т. С. Шмидт. Л.: Гидрометеоздат, 1986. Т. 1, вып. 14. 364 с.

Единый государственный фонд данных // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: сайт. URL: <http://meteo.ru/egfd> (дата обращения: 18.02.2021).

Игнатов А. В. Стохастическое моделирование: Версия 02 – Поиск эмпирических закономерностей. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2018660076 от 16.08.2018 (Роспатент РФ).

Истомина Е. А. Методика оценки нарушенности растительности Южного Прибайкалья с использованием космических снимков и ландшафтной карты // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 21. С. 59–67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29958957>

Ландшафтно-гидрологический анализ территории / под ред. А. Н. Антипова, Г. В. Бачурина. Новосибирск : Наука, 1992. 208 с.

Ландшафты юга Восточной Сибири. Карта М 1:1 500 000 / В. С. Михеев, В. А. Ряшин. М. : ГУГК, 1977. 4 л.

Раевский Б. В., Тарасенко В. В. Изучение динамики лесных массивов карельской части зеленого пояса Фенноскандии методами дистанционного зондирования // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2019. № 4. С. 89–99. <https://doi.org/10.33764/10.17076/them1023>

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 3. Бассейн озера Байкал (Забайкалье) / ред.: М. Г. Васильковский. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 400 с.

Субботин А. И. Ландшафтно-гидрологический принцип изучения, расчета и прогноза стока талых и дождевых вод // Метеорология и гидрология. 1967. № 12. С. 50–57.

Тарасов А. В. Современные методы оперативного картографирования нарушений лесного покрова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2020. Т. 25, № 3. С. 201–213. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-201-213>

Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Бассейн р. Голоустной / В. В. Кравченко [и др.]. Иркутск ; Ганновер : ИГ СО РАН, Группа планирования «Экология + Окружающая среда», 1997. 234 с.

High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, J. R. G. Townshend // Science. 2013. Vol. 342. P. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

Hydrological Regime of the River When Changing the Landscape Structure of the Catchment Area (by the Example of the River Goloustnaya)

O. V. Gagarinova, D. E. Razdobarin

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The main features of the hydrological regime of the river are strategic regional characteristics. At the same time, a significant effect on surface and groundwater runoff, evaporation and transpiration determines the landscape of the transformation of atmospheric precipitation entering the drainage area, surface and groundwater runoff. The existing basin landscape structure has hydrological properties that change when structural components are disturbed. The article examines the relationship between the intra-annual regime of the river and changes in the landscape structure of the catchment area over ten years. An estimate of the size of landscape transformations is proposed based on data on global changes in forest cover in the world in the 21st century – high-resolution global maps of changes in forest cover in the 21st century. The analysis of the dynamics of characteristics of runoff, precipitation and area landscapes is carried out. The dependence of the hydrological regime of the river on the structural transformations of the drainage landscape was revealed for the phase of the upper rainfall runoff. An increase in water discharge in the river against the background of total precipitation was noted, which indicates a change in the landscape-hydrological properties of the catchment. As a result of the reduction in the areas of dark coniferous landscapes, which have significant runoff-regulating functions of the territory of the hydrological regime, the values and amplitudes of the rises of rain floods increase. Investigations of landscape-hydrological transformations of

watersheds is an important direction in optimizing the use of natural resources in watersheds and minimizing the negative impact of natural waters.

Keywords: landscape structure, hydrological regime, catchment area, remote sensing data.

For citation: Gagarinova O.V., Razdobarin D.E. Hydrological Regime of the River When Changing the Landscape Structure of the Catchment Area (by the Example of the River Goloustnaya). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 37, pp. 17-27. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.37.17> (in Russian)

References

Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov (AIS GMVO) [Automated information system of state monitoring of water bodies]. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=134&type=word> (date of access: 18.02.2021). (in Russian)

Antipov A.N., Fedorov V.N. *Landshaftno-gidrologicheskaya organizatsiya territorii* [Landscape and hydrological organization of the territory]. Novosibirsk, Sb RAS Publ., 2000, 254 p. (in Russian)

Gagarinova O.V., Antipov A.N. Landshaftno-gidrologicheskii podkhod k otsenke stoka territorii Leno-Angarskogo mezhdurech'ya [Landscape-hydrological approach to assessing the runoff of the territory of the Lena-Angara interfluve]. *Geograficheskie zakonomernosti gidrologicheskikh protsessov yuga Vostochnoi Sibiri* [Geographic patterns of hydrological processes in the south of Eastern Siberia], 2003, pp. 132-144. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27420926> (in Russian)

Gagarinova O.V. Landshaftno-gidrologicheskie zakonomernosti formirovaniya stoka v basseinoezera Baikal [Landscape-hydrological regularities of runoff formation in the Lake Baikal basin]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2012, no. 3, pp. 55-60. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17952016> (in Russian)

Bachurin G.V., Korytnyi L.M. (eds.). *Gidrologicheskie issledovaniya landshaftov* [Hydrological studies of landscapes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 207 p. (in Russian)

Glushkov V.G. *Voprosy teorii i imetody gidrologicheskikh issledovaniy* [Questions of theory and methods of hydrological research]. Moscow, AN SSSR Publ., 1961, 70 p. (in Russian)

Shmidt T.S. (ed.). *Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy* [State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of land surface waters]. Leningrad, vol. 1, no. 14, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 364 p. (in Russian)

Federalnaya sluzhba po gidrometeorologii i imonitoringu okruzhayushchei sredy. Edinyi gosudarstvennyi fond dannykh [Unified State Data Fund]. Available at: <http://meteo.ru/egfd> (date of access: 18.02.2021). (in Russian)

Ignatov A.V. *Stokhasticheskoe modelirovanie: Versiya 02 – Poisk e'mpiricheskikh zakonomernostej* [Stochastic Modeling: Version 02-Search for empirical patterns] Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy` dlya E`VM no. 2018660076 at 16 August 2018 (Rospatent RF)

Istomina E.A. Metodika otsenki narushennosti rastitel'nosti Yuzhnogo Pribaikal'ya s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov i landshaftnoi karty [Methodology for assessing the disturbance of vegetation in the Southern Baikal region using satellite images and landscape maps]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2017, vol. 21, pp. 59-67. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29958957> (in Russian)

Antipov A.N., Bachurin G.V. (ed.). *Landshaftno-gidrologicheskii analiz territorii* [Landscape-hydrological analysis of the territory]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992, 208 p. (in Russian)

Landshafty yuga Vostochnoi Sibiri. Karta [Landscapes of the south of Eastern Siberia. Map]. 1:1500 000. Eds. V.S. Mikheev, V.A. Ryashin. Moscow, GUGK Publ., 1977. (in Russian)

Raevskii B.V. Izuchenie dinamiki lesnykh massivov karel'skoi chasti zelenogo poyasa Fennoskandii metodami distantsionnogo zondirovaniya [Study of the dynamics of forest tracts of the Karelian part of the green belt of Fennoscandia by remote sensing methods]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2019, vol. 4, pp. 89-99. <https://doi.org/10.33764/10.17076/them1023> (in Russian)

Vasilkovskii M.G. (ed.). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Angaro-Eniseiskii raion* [Surface water resources of the USSR. Angaro-Yeniseysky district]. Leningrad, vol. 16, no. 3, Gidrometeoizdat Publ., 1973, 400 p. (in Russian)

Subbotin A.I. Landshaftno-gidrologicheskii printsip izucheniya, rascheta i prognoza stoka talykh i dozhdevykh vod [Landscape-hydrological principle of study, calculation and forecasting of melt and rainwater runoff]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1967, no. 12, pp. 50-57. (in Russian)

Tarasov A.V. Sovremennye metody operativnogo kartografirovaniya narushenii lesnogo pokrova [Modern methods of operational mapping of forest cover disturbances]. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii)* [Bulletin of SSUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)], 2020, vol. 25, no. 3, pp. 201-213. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2020-25-3-201-213> (in Russian)

Kravchenko V.V., Volkova V.G., Davydova N.D. Ekologicheski orientirovannoe planirovanie zemlepol'zovaniya v Baikal'skom regione. Bassein r. Goloustnoi [Environmentally oriented land use planning in the Baikal region. Catchment area r. Goloustnaya]. Irkutsk, IG SO RAN Publ., 1997, 234 p. (in Russian)

Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S. J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change. *Science*, 2013, vol. 342, pp. 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>

Гагаринова Ольга Владимировна

кандидат географических наук,
заведующий, лаборатория гидрологии
и климатологии
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: whydro@irigs.irk.ru

Gagarinova Olga Vladimirovna

Candidate of Sciences (Geography), Head,
Hydrology and Climatology Department
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: whydro@irigs.irk.ru

Раздобарин Дмитрий Евгеньевич

инженер 1-й категории
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: dmi3984@yandex.ru

Razdobarin Dmitry Evgenievich

Engineer of 1st Category
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: dmi3984@yandex.ru