

РАЗВИТИЕ СИБИРСКОЙ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ*

© 2018 г. Л.М. Корытный^{1,2}, О.В. Гагаринова¹, Е.А. Ильичева^{1,2},
Н.В. Кичигина¹

¹ ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения
Российской академии наук», г. Иркутск, Россия

² ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», г. Иркутск, Россия

Ключевые слова: ландшафтно-гидрологический анализ, индикационные и картографические методы, бассейн, экстремальный сток, зонирование.



Л.М. Корытный

О.В. Гагаринова

Е.А. Ильичева

Н.В. Кичигина

Рассмотрены отличительные черты сформировавшейся в 1970–1980-х годах в Институте географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР сибирской школы ландшафтной гидрологии: опора на экспериментальные исследования, широкое использование методов гидрологической индикации, бассейновая концепция, ландшафтно-гидрологическое картографирование. Изложен опыт реализации положений теоретических исследований в практических разработках. Показано, как в последнее десятилетие ландшафтно-гидрологический метод успешно применяется в гидролого-морфологическом анализе дельт, в моделировании стока и гидрохимического режима малых речных бассейнов (на основе модели смешения источников питания с использованием гидрохимических трассеров), исследовании опасных гидрологических процессов, рекреационном зонировании, атласном картографировании Байкальского региона. Отмечены усилия по координации исследований (создание рабочей группы, организация обмена информацией, сбор предложений по унификации терминологии и методов, проведение совещаний, публикация результатов). Показана острая необходимость развития географо-гидрологического направления в связи с изменившимися условиями стокоформирования.

* Исследования выполнены при поддержке гранта Русского географического общества по договору № 19/2018 – И

В последние десятилетия антропогенно обусловленные изменения водного режима и качества вод сделали неоднородными гидрологические и гидрохимические ряды, что требует расширения использования географических методов аналогии, районирования, картографирования, использования косвенных и индикационных характеристик, широкого применения дистанционных методов и ГИС-технологий.

Необходимость учета географической информации, параметров и функций конкретных ландшафтов, локальных и региональных взаимосвязей особенно ощущается в восточных районах страны в связи со сложностью задач хозяйственного освоения в разнообразных природных условиях при недостаточной плотности гидрометеорологической сети. Именно здесь в 1970–1980-х годах начала формироваться сибирская школа ландшафтной гидрологии. Центром ее стала лаборатория гидрологии Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР (ныне Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН). В основе разработки теоретического подхода лежали идеи гидрологов А.И. Субботина, И.С. Соседова, И.Н. Гарцмана, Ю.Б. Виноградова и др., а также академика В.Б. Сочавы, сформулированные им в монографии «Введение в учение о геосистемах» [1]. Итоги первого этапа развития школы и перспективы исследований были представлены в книге [2], а дальнейшие направления исследований в работе [3].

В данной статье преимущественно рассмотрены результаты исследований последнего десятилетия.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ландшафтно-гидрологический анализ условий формирования водных ресурсов и оценки их состояния

Ландшафтно-гидрологический анализ определяет основные закономерности связей между природными структурами (факторами) и гидрологическими процессами и явлениями и дает их пространственное описание [4–7]. Разработано представление о ландшафтно-гидрологических системах (ЛГС), которые могут быть трансформированы в более частные варианты пространственной организации – стокоформирующие комплексы, под которыми понимается часть земной поверхности, где взаимодействия гидрологических процессов и природных структур обладают локализованно специфическими закономерностями. Для субпланетарных систем стоков определен прежде всего климатическими факторами, для локальных – во многом зависит от степени дренированности, водно-физических характеристик почвогрунтов и т. д. Таким образом, обоснована определенная иерархия ЛГС: от уровня элементарного ЛГ-участка до ЛГ-субконтинентов.

Представление о гидрологических функциях положено в основу гидрологического зонирования речных бассейнов и пойменно-долинных систем.

В границах бассейнов выделяются структуры, для которых возможен прогноз изменений стока в различные гидрологические фазы под влиянием естественных природных факторов либо антропогенных воздействий. Обоснованы критерии, определяющие значение и чувствительность ресурсов местного стока, которые, в свою очередь, определяются стокоформирующими и стокорегулирующими функциями ландшафтно-гидрологических комплексов. В этом же контексте рассмотрены и проблемы ландшафтно-гидрологического районирования. Процедура такого районирования – это количественные оценки стокоформирования в отдельных природных ареалах, выделение и типизация ЛГС, их пространственная увязка с природной организацией и в итоге – территориальная дифференциация по особенностям гидрологической организации анализируемого участка.

Не менее существенно получение представлений о связи гидрологического и гидрохимического режимов как на уровне водотоков, так и для вод, формирующихся в границах ландшафтов. Причем такие модели формирования составлены не только для макро-, но и для микрокомпонентов.

Бассейновая концепция

Основной таксономической и расчетной единицей определен бассейн как геосистема [8]. Бассейн обладает мощным интегрирующим фактором – водным потоком, направленным по падению склонов и тальвегам, и четкими границами – водоразделами. В нем выделяются два главных функциональных уровня: склоны и гидрографическая сеть. Бассейны как иерархически построенные целостные образования, в которых замыкаются многие виды кругооборота веществ, обособившихся в четких орографических границах, перспективны в качестве территориальных ячеек не только в гидрологии, но и в исследованиях техногенеза, природно-хозяйственном районировании и в других разделах географии и экологии.

Речной бассейн представлен в виде многопараметрической системы, элементами которой являются площади развития горных пород с различными фильтрационными свойствами и тектоническими особенностями, а также элементарные ландшафты (биогеоценозы) [9]. Взаимодействие элементов определяет пространственно-временные вариации составляющих водного баланса и химического состава природных вод местного генезиса. Построение моделей стокоформирования основано на представлении бассейна мозаикой однородных ландшафтно-гидрологических комплексов, дренированных речной сетью и однородных по процессам питания, движения, аккумуляции и расходования влаги.

Разработана модель, описывающая трансформацию осадков, выпадающих на бассейн реки, в ее сток в замыкающем створе. При оценке параметров модели использован принцип компромиссного учета информации разного типа и степени достоверности. Модель применена для анализа закономерностей формирования стока с ландшафтов Восточной Сибири.

Индикационные методы

Разработаны эффективные приемы индикации пространственной гидрологической организации по типу растительного и почвенного покрова, геологической или ландшафтной структуре. Механизм многих взаимосвязей между природными и гидрологическими показателями, как известно, не может быть полностью раскрыт при современном уровне знаний, однако многие зависимости можно использовать как индикационные. При этом исходные характеристики рельефа, растительности, почв определяются более легко, в т. ч. по топографическим и тематическим картам методом построчного сканирования. Такой опыт имеется для ряда регионов Западно-Сибирской низменности и бассейнов р. Ангары и оз. Байкал. Статистические связи между гидрологическими и ландшафтными характеристиками выражались в виде линейной многомерной регрессионной зависимости, а система уравнений решалась методом сингулярного разложения [9].

Успешным оказалось применение методов гидрографической индикации, использование закономерностей строения речной сети. Поскольку в самом рисунке сети содержится значительная информация о геологических, геоморфологических, гидрологических аспектах зарождения и развития как системы водотоков, так и территории их бассейнов, логично использовать эту информацию для индикации гидрологических, прежде всего, стоковых характеристик. Речная сеть представляется в виде графа – ориентированного дерева – на основе крупномасштабных топокарт, на графе рассчитываются параметры сети. Наилучшим образом совокупность свойств графа (соподчиненность, упорядоченность, иерархичность, разветвленность, разнообразие) учитывается для каждой точки слияния водотоков структурными (энтропийными) мерами по алгоритму «информационной функции» К. Шеннона. Установленные индикационные свойства структурных мер для речных систем юга Восточной Сибири в отношении различных характеристик стока средней водоносности открыли хорошие перспективы для гидрологических расчетов [10, 11].

Структурно-гидрографический анализ речных систем, как индикационный метод, применим для оценки условий формирования стока и расчета среднегодовой и максимальной водоносности [12]. Модели речных систем, созданные на основе графа речной сети, построенного по топографическим картам и отражающего устойчивый среднесезонный сток, рассматриваются как статические. Статическая модель, основанная на совокупности постоянных водотоков, позволяет получить локальные зависимости среднего многолетнего стока от структурных мер – структурный модуль, который является критерием разделения территории на однородные участки и позволяет дифференцировать водосборный бассейн на области стокоформирования.

Современные геоинформационные технологии позволяют проводить анализ структуры речных систем и моделирование гидрологических про-

цессов с использованием цифровых моделей рельефа (SRTM), что сокращает время обработки, обеспечивает большой территориальный охват и позволяет перейти к динамическому отображению всей водно-эрозионной системы. Динамическая модель речных систем совпадает с реальной сетью, но дополняется водно-эрозионными элементами первых порядков с учетом ложбин стока и соответствует фазе экстремальной водности при максимальном увлажнении. Структурно-гидрографические и энтропийные характеристики динамической модели используются для расчетов экстремально возможного максимального стока рассматриваемой речной системы. Рассчитанный таким образом максимальный сток редкой обеспеченности (менее 0,01 %) существенно выше максимальных наблюдаемых значений расходов воды.

Сравнительный анализ статической и динамической моделей речных систем для бассейна оз. Байкал выявил увеличение значений ряда структурно-гидрографических параметров, таких как порядок и магнитуа системы, густота речной сети, гидроморфологический коэффициент и др. [13, 14].

Применение материалов SRTM существенно детализирует структурно-гидрографические характеристики, во многом дополняя ранние исследования и создавая возможность расчета максимального стока в любой точке речной системы и стадии ее развития (рис. 1).



Гидрологическое картографирование

Создание карт – один из самых эффективных путей гидрологических исследований. В Институте географии СО РАН проведен поиск альтернативных традиционному изолинейному методов гидрологического карто-

графирования. Разработан метод индикационной локации, основанный на взаимосвязях между гидрологическими явлениями и структурно-генетическими особенностями строения геосистем. Построенные этим методом карты представляют мозаику районов с относительно устойчивыми характеристиками и сопряжены между собой. На локальном уровне с использованием этого метода был подготовлен атлас малого речного бассейна [2]; на региональном уровне – серии сопряженных карт (среднего стока, стока половодья, снегового, дождевого и подземного питания, химического состава вод, минимального летнего стока и др.), представленные в экологических атласах Иркутской области и бассейна оз. Байкал.

Другой подход картографирования речного стока – метод вдольруслового картографирования, когда водоносность реки показывается линейной картограммой (эпюрой) – масштабной полосой вдоль русла реки. Метод усовершенствован посредством использования структурных характеристик речных систем, при этом насыщение топологического пространства графа речной сети информацией позволяет определять значение стока практически в любой точке слияния водотоков [8]. Этот же метод можно использовать для изображения других гидрологических характеристик, например, изменения по длине реки качества воды, водно-ресурсного потенциала и т. п., он очень удобен для быстрого определения необходимого показателя в любом ареале, например, ландшафтном, экологическом или административном районе.

Опасные гидрологические процессы

С географических позиций обоснована классификация опасных гидрологических процессов [15]. На территории России распространены 15 основных видов природных гидрологических опасностей. По генезису предлагается выделять три класса гидрологических опасностей: гидро-климатические, гидро-геологические, гидро-гляциологические. Для территории Сибири на основе кадастровых и картографических материалов, литературных источников и авторских исследований выполнены экспертная оценка и ранжирование гидрологических опасностей. Опасность в каждом бассейне оценивалась по пятибалльной шкале по следующим позициям: распространенность, повторяемость, предсказуемость, величина ущерба (отдельно для населения, хозяйственных объектов и ландшафта), возможность предотвращения (защиты). В большинстве районов (макробассейнов) – 11 из 17 – преобладает гидро-гляциологическая опасность.

Выполнено районирование факторов максимального стока рек юга Восточной Сибири на основе типологической классификации, по которой в один класс объединены в виде кластер-диаграммы бассейны с относительно однородными и сходными условиями формирования максимального

стока [16]. Выполнен анализ всех заторных и зажорных участков на рассматриваемой территории. Интегральная опасность наводнений определяется с учетом генезиса, повторяемости, их величины (сила воздействия) и ущерба, возможности и целесообразности прогнозирования (рис. 2).

На основе разработанного подхода выполнен анализ и картирование опасности наводнений Сибири и ее отдельных регионов [17]. Оценены изменения характеристик речного стока и повторяемости наводнений, происходящих на фоне климатических изменений. Определена опасность наводнений в пространственном аспекте для муниципальных образований в ранге административных районов Байкальского региона, исходя из двойственно (социально-экономического и природного) характера наводнений [18].



Рис. 2. Реки с различным генезисом наводнений в бассейнах Ангары и Верхней Лены.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования в малых речных бассейнах

Работы в малых речных бассейнах позволяют установить связи между гидрологическими величинами и природными факторами, выяснить генетические особенности формирования стока. Только натурные исследования гидрологических процессов на объектах локального уровня пространственной размерности дают возможность выяснить генетические и структурные особенности этих процессов. При этом основной задачей является описание структуры гидрологических режимов в иерархии «ключевые участки (выделы) – биогеоценоз – элементарный склон – малый

бассейн». На ключевых участках проводятся многолетние воднобалансовые наблюдения в основном традиционными для гидрологии методами. Межуровневые переходы осуществляются на базе маршрутных и дистанционных исследований, экстраполяционных зависимостей, а также крупномасштабного картографирования. В итоге устанавливаются основные закономерности формирования, пространственного распределения и соотношения воднобалансовых элементов в различных ландшафтах Сибири.

Разработка методики геосистемно-гидрологического эксперимента проводилась на комплексных географических стационарах Института географии СО РАН. Наиболее детальные исследования проведены на Ленском стационаре в таежных предгорьях Западного Саяна в 1971–1977 гг. [2]. Изучены также гидрологические особенности степных ландшафтов Хакасии (1971–1974 гг.), южно-таежных ландшафтов Прииртышья (1967–1985 гг.) [6], степных ландшафтов Назаровской котловины (1980–1983 гг.), горнотаежных и дельтовых ландшафтов Верхоленья, Прибайкалья и Забайкалья (1987–2007 гг.), высокогорных малых бассейнов Восточного Саяна.

С 2013 г. на экспериментальных бассейнах Байкальского региона проводятся исследования, направленные на выявление специфики формирования стока на малых речных водосборах Байкальского региона на основе комплексного гидролого-гидрохимического мониторинга с использованием автоматизированных средств измерения. Изучаются преобладающие типы питания малых горных водотоков, формы взаимодействия компонентов стока, их качественные и количественные характеристики методами трассерной гидрологии.

Объектами исследования являются репрезентативные малые речные водосборы 1–3 порядка, находящиеся в различных ландшафтных и мезоклиматических условиях. Исследования проводятся на двух ключевых участках в пределах региона. Первый охватывает склоны южной экспозиции и подножье Тункинских гольцов в районе пос. Аршан (Восточный Саян), реки этого участка относятся к бассейну р. Иркут. Здесь оборудованы экспериментальные бассейны на водосборах ручьев Икубур и Кар № 2. Второй участок – юго-восточный, обращенный к Байкалу макросклон Приморского хребта, здесь оборудован экспериментальный бассейн на водосборе руч. Ланинский.

Изучение данных детального гидролого-гидрохимического мониторинга проводится с использованием методов многомерного анализа, в первую очередь, – модели смешения источников питания с использованием гидрохимических трассеров (ЕММА-модель) и метода главных компонент (МГК), позволяющего выполнять пространственный анализ вариабельности различных природных вод на водосборе [19–22]. В качестве предполагаемых источников питания рассматриваются атмосферные осадки, наледные (талые) воды, почвенные склоновые воды и подземный (базисный) приток.

На экспериментальных бассейнах оборудованы створы наблюдений, где современными измерительными комплексами осуществляются непрерывные автоматизированные измерения уровня, температуры воды и удельной электропроводности. На ключевых участках отбираются пробы природных вод различного генезиса – воды рек, ручьев, родников, временных водотоков, атмосферных осадков. Химические анализы проб производятся общепринятыми методами в лицензированном химико-аналитическом центре ИГ СО РАН.

В результате собран уникальный материал высокого временного разрешения, получены выводы о тонких механизмах формирования стока, форм взаимодействия его отдельных компонент на малых горных водотоках [23] (рис. 3, 4).

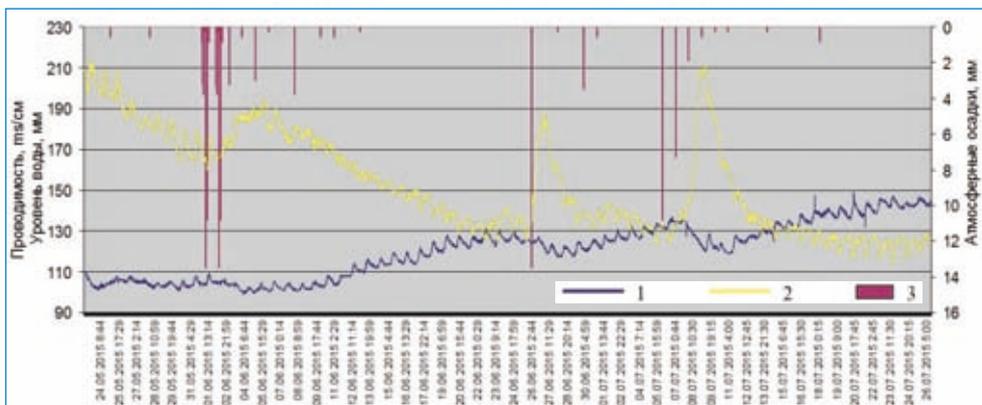


Рис. 3. Электропроводность (1), уровень воды (2) и атмосферные осадки (3) в руч. Ланинский за период 23.05 – 26.07.2015 г.

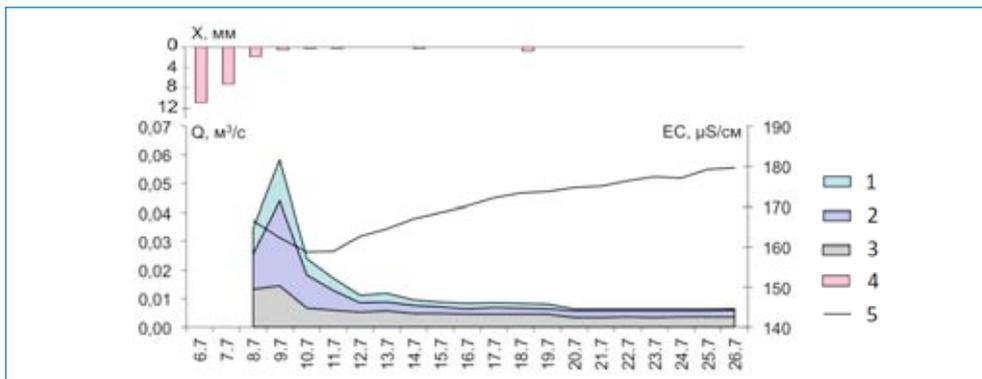


Рис. 4. Посуточная динамика источников питания речного стока руч. Ланинский с 08.07. по 26.07.2015 г., рассчитанная с использованием ЕММА-модели: 1 – дождевое питание, 2 – питание талыми водами, 3 – питание грунтовыми водами, 4 – атмосферные осадки, 5 – электропроводность.

Исследования дельты р. Селенги

Сотрудниками института ведутся гидролого-геоморфологические исследования дельты р. Селенги [24–27]. Устьевая система Селенги является ключевым звеном всего бассейна и реагирует на все природные и антропогенные изменения в речной системе. Дельта Селенги как объемное геологическое тело имеет продолжительную историю формирования, неразрывно связанную с генезисом байкальских котловин, поэтому дельтовые отложения несут обширную палеогеографическую информацию для реконструкций и прогнозирования развития дельты в различных гидролого-климатических условиях (рис. 5).



Рис. 5. Типы руслоформирующих наносов.

Многолетние мониторинговые гидролого-геоморфологические исследования, основанные на полевых наблюдениях, анализе разновременного картографического материала, космоснимков и актуальных ортофотоматериалов, обосновали динамические границы современной субаэральной и субаквальной дельты и мощности озерно-аллювиальных дельтовых отложений, сформированных на современном этапе гидроклиматического цикла.

Гидроморфологический подход позволил районировать дельту по основным направлениям стока, развитию береговой линии, динамике заозерен-

ности дельтовой равнины. На основе предложенного районирования дельты разработаны модели перераспределения стока, динамики субаэральная поверхности и ее фланговых частей, а также выявлены современные тектонические проявления, по масштабам сходные с заливом Провал.

Динамичность субаэральная поверхности дельты, обусловленная современными эрозионно-аккумулятивными процессами, в наибольшей степени проявляется в периоды повышенной водности, что способствует высотным и плановым перестройкам рельефа и гидрографической сети. Исследованы взаимосвязи определенных ландшафтных компонентов с гипсометрическим положением, локализацией относительно основных элементов гидрографической сети дельты, условиями увлажнения территории. Получены данные по распространению и структурному составу ключевых видов растительности в соответствии с гидролого-геоморфологическими особенностями их местобитания. Установлено, что по структурным и возрастным характеристикам растительных комплексов возможно определять динамику преобразований элементов рельефа и в перспективе индцировать интенсивность и временные периоды переформирования дельтовой поверхности. По материалам экспериментальных исследований и с использованием данных дистанционного зондирования осуществлено ландшафтно-гидролого-геоморфологическое районирование поверхности дельты, главный критерий которого – интенсивность и направленность ведущих гидроморфологических процессов.

Зонирование субаэральная поверхности дельты позволило выделить различные по устойчивости к эрозионным изменениям участки и рекомендовать наиболее приемлемые в плане хозяйственного развития территории.

Ландшафтно-гидрологическое зонирование для рекреационных целей

Рекреационная деятельность на природных территориях определяет существенные трансформации ландшафтных компонентов, нарушает их структуру и естественные функции, что ведет к изменениям качественных и количественных характеристик природных вод. Ландшафтно-гидрологический анализ водно-экологического потенциала природных комплексов, устойчивости гидрологических функций ландшафтов к естественным и антропогенным изменениям позволяет дать общую оценку возможности развития рекреации без ущерба для природных вод территории.

Выполнено ландшафтно-гидрологическое зонирование по степени устойчивости гидрологических функций ландшафтов к внешним воздействиям в границах Центральной экологической зоны Байкальской природной территории в Иркутской области. Любые нарушения ландшафтов на крутых склонах с редкостойной растительностью и маломощными почвами ведут к интенсификации экзогенных процессов, изменению условий

формирования и транзита стока в водные объекты, к развитию опасных гидрологических и геоморфологических процессов. Такие территории неустойчивы к воздействиям, возможности хозяйственного развития здесь, в т. ч. рекреационного, крайне ограничены.

Наибольшей стабильностью гидрологических функций ландшафтов характеризуются равнинные, пологосклоновые, подгорные темнохвойные ландшафты, имеющие значительные водоохранные свойства за счет зарегулированности увлажненных участков, фильтрации влаги в подземные горизонты, замедленных процессов стока и испарения. На таких территориях определенные рекреационные нагрузки не приведут к смене структуры ландшафтов, нарушениям водного баланса и загрязнению природных вод при соблюдении норм и правил охраны окружающей среды.

Рамочное ландшафтно-гидрологическое зонирование на основе анализа условий формирования и трансформации стока в ландшафтах направлено на сохранение гидрологических функций ландшафтов при планировании рекреационного развития территории (рис. 6).

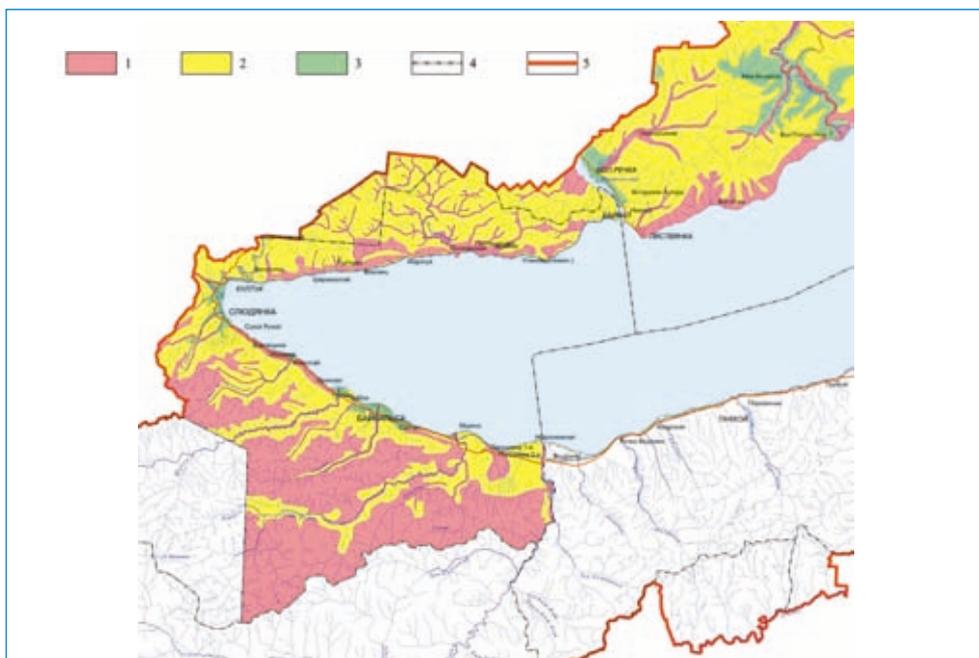


Рис. 6. Фрагмент карты ландшафтно-гидрологического зонирования участка ЦЭЗ БПТ в границах Иркутской области для рекреационного развития территории: 1 – зона сохранения современного состояния; 2 – регламентированного использования; 3 – зона развития; 4 – граница Слюдянского района; 5 – граница ЦЭЗ БПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические принципы и экспериментальные методы, разработанные сибирской ландшафтно-гидрологической школой, успешно применены на практике. А именно:

- выполнены крупные региональные воднобалансовые обобщения (Западная Сибирь, Ангаро-Енисейский регион, юг Восточной Сибири, бассейн оз. Байкал) [6, 11, 12, 28];
- проведена оценка гидрологических последствий крупных хозяйственных проектов (изъятие стока для переброски в Казахстан и Среднюю Азию, создание Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса, строительство БАМа, трубопровода Восточная Сибирь – Тихий океан и др.);
- выполнены гидрологические части экологического сопровождения и экспертизы многочисленных проектов освоения угольных, нефтегазовых, рудных месторождений Восточной Сибири, а также проектов гидроэнергетического, водохозяйственного, рекреационного направления;
- подготовлены водно-ресурсные и водно-экологические карты Красноярского края, Иркутской области, а также всей Азиатской России.

Помимо обозначенных выше научных и практических результатов, следует отметить усилия по координации исследований географов-гидрологов. Так, в 1984 г. была сформирована рабочая группа по проблемам ландшафтно-гидрологических исследований, в обязанности которой входила организация обмена информацией и совместных работ, сбор предложений по унификации терминологии и методов, проведение совещаний, публикация результатов. В работе группы, помимо сибиряков, активно участвовали А.И. Субботин, И.С. Соседов, Н.И. Коронкевич, Г.И. Швец, В.М. Широков, С.Ф. Федоров и другие видные ученые. В Иркутске был проведен ряд конференций: 1984 г. – «Гидрология естественных и преобразованных ландшафтов»; 1988 г. – «Информационное обеспечение ландшафтно-гидрологических исследований»; 1992 г. – «Гидрологические функции ландшафта»; 1997 г. – «Гидрология и геоморфология речных систем»; 2004 г. – «Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменения климата»; 2005 г. – «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». Подготовлена серия сборников и монографий «Гидрология ландшафта», в рамках которой уже издано 12 книг.

Важной особенностью всех рассмотренных выше исследований является то, что они проводились, как правило, совместно с представителями других наук в ходе многолетних комплексных работ на географических стационарах или при географическом обеспечении решения крупных экономических проблем. Это давало возможность получать нетрадиционные результаты «на стыке» родственных наук, усиливало теоретическую и практическую обоснованность новых методов и решений.

В настоящее время сибирская ландшафтно-гидрологическая школа имеет реальные методические и практические результаты. Предстоит дальнейшее развитие теоретического базиса и достижение новых целей. Научный поиск будет продолжен с использованием современной приборной базы, дистанционных методов и геоинформационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.
2. *Антипов А.Н., Корытный Л.М.* Географические аспекты гидрологических исследований (на примере речных систем Южно-Минусинской котловины). Новосибирск: Наука, 1987. 177 с.
3. *Антипов А.Н., Корытный Л.М.* Сибирская школа ландшафтной гидрологии // Вопросы географии. 2012. Вып. 133. С. 32–47.
4. Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, 1992. 208 с.
5. Гидрологическая роль лесных геосистем. Новосибирск: Наука, 1989. 167 с.
6. Ландшафтно-гидрологические характеристики Западной Сибири. Иркутск: Институт геогр. СО РАН, 1989. 222 с.
7. *Антипов А.Н., Федоров В.Н.* Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 255 с.
8. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Институт геогр. СО РАН. 2001. 163 с.
9. *Федоров В.Н.* Ландшафтная индикация формирования речного стока. Иркутск. М.: Институт геогр. СО РАН, 2007. 175 с.
10. *Корытный Л.М.* Информационная роль характеристик строения речных систем Сибири // Гидрологические исследования ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1986. С. 126–143.
11. Географические закономерности гидрологических процессов юга Восточной Сибири. Иркутск: Институт геогр. СО РАН, 2003. 208 с.
12. Гидроклиматические исследования Байкальской природной территории / под ред. Л.М. Корытного: Новосибирск: Изд-во «Гео», 2013. 187 с.
13. *Ильичева Е.А., Амосова И.Ю.* Структурно-гидрографический анализ речных систем бассейна озера Байкал // Эколого-биологические и географические исследования в решении региональных проблем // Вестник Бурятского гос. университета. Сер. Биология и география. 2017. № 4. С.16–24.
14. *Амосова И.Ю., Ильичева Е.А.* Структурно-гидрографический подход к определению экстремально высокого стока // Известия Иркутского государственного университета. Сер. «Науки о Земле». 2018. Т. 23. С. 17–27.
15. *Корытный Л.М.* Гидрологические опасности Сибири: классификация, распространенность, взаимообусловленность // Докл. VI Всеросс. гидрологического съезда. М.: Росгидромет, 2006. С. 21–25.
16. *Корытный Л.М., Кичигина Н.В.* Типология и районирование факторов максимального стока рек юга Восточной Сибири на основе кластер-анализа // Анализ и стохастическое моделирование экстремального стока на реках Евразии в условиях изменений климата. Иркутск: Институт геогр. СО РАН, 2003. С.160–78.
17. *Кичигина Н.В., Корытный Л.М.* Районирование Восточной Сибири по опасности наводнений // География и природные ресурсы. 1997. № 3. С. 40–50.
18. *Kichigina N.* Hydroclimatic changes and analysis of floods in large river basins of southern East Siberia // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. No 15. P. 2144–2152.

19. Губарева Т.С., Болдескул А.Г., Гарцман Б.И., Шамов В.В. Анализ природных трассиров и генетических составляющих стока в моделях смешения (на примере малых бассейнов в Приморье) // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 4. С. 161–190.
20. Cristophersen N., Hopper R.P. Multivariate analysis of stream water chemical data: the use of principal component analysis for the end-member mixing problem // Wat. Res. 1992. Vol. 28. P. 99–107.
21. Hooper R.P. Diagnostic tools for mixing models of stream water chemistry // Wat. Res. 2003. Vol. 39. No 3. 1055 p.
22. Cristophersen N., Neal C., Hooper R.P., Voght R.D. Modelling stream water chemistry as a mixture of soilwater and end-members – a step towards second-generation acidified models // J. Hydrol. 1990. Vol. 116. No 1–4. P. 307–320.
23. Кичигина Н.В., Губарева Т.С., Шамов В.В., Гарцман Б.И. Трассерные исследования формирования речного стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 60–69.
24. Il'yicheva E.A. Dynamics of the Selenga river network and delta structure // Geography and Natural Resources. 2008. Vol. 29. P. 343–347.
25. Korytny L.M., Il'yicheva E.A., Pavlov M.V., Amosova I.Yu. Hydrologo-Morphological Approach to Regionalization of the Selenga River Basin // Geography and Natural Resources. 2012. Vol. 33. P. 212–217.
26. Dong T.Y., Nittrouer J.A., Il'yicheva E.A., Pavlov M., McElroy B., Czapiga M.J., Ma H., Parker G. Controls on gravel termination in seven distributary channels of the Selenga River Delta, Baikal Rift basin, Russia // Geological Society of America Bulletin. 2016. Vol. 128. No 7. P. 1297–1312.
27. Корытный Л.М., Павлов М.В., Ильичева Е.А. Русловая сеть дельты реки Селенги на современном этапе // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 380. С. 190–194.
28. Корытный Л.М., Безруков Л.А. Водные ресурсы Ангаро-Енисейского региона (геосистемный анализ). Новосибирск: Наука, 1990. 214 с.

Сведения об авторах:

Корытный Леонид Маркусович, д-р геогр. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН», Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1; ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1; e-mail: kor@irigs.irk.ru

Гагаринова Ольга Владимировна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрологии и климатологии, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 1; e-mail: whydro@irigs.irk.ru

Ильичева Елена Анатольевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрологии и климатологии, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 1; доцент, кафедра гидрологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126; e-mail: lenail3663@mail.ru

Кичигина Наталья Витальевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрологии и климатологии, ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 1; e-mail: nkichigina@mail.ru