

Ю.В. Вантеева\*

*Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия*

*\*Автор для корреспонденции: ula.vant@mail.ru*

## Оценка средорегулирующих функций геосистем на локальном уровне

В рамках методики ландшафтного планирования впервые проведена оценка средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай (юго-восточное побережье оз. Байкал, хр. Хамар-Дабан, Бурятия). Основой для исследования послужила ландшафтно-типологическая карта на уровне групп фаций в масштабе 1: 50 000. В качестве количественных показателей климаторегулирующей функции геосистем использованы данные о запасах органического углерода в древесной фитомассе и верхних гумусовых горизонтах почв на глубине 0–5 см. Для оценки стокоформирующей и эрозионнорегулирующей функций использовались данные о запасах древесной фитомассы и рассчитанные по ЦМР показатели накопления стока и LS-фактор. С применением методов геоинформационного анализа данных и ландшафтно-интерпритационного картографирования произведена оценка рассматриваемых функций для каждого типа геосистем. Составлена матрица значимости геосистем для обеспечения средорегулирующими функциями. В результате выявлено, что наибольшее распространение (30,6 %) на территории водосборного бассейна р. Бол. Мамай получила горная темнохвойная тайга и субальпийские горно-луговые геосистемы (26,2 %). Долинные геосистемы занимают около 12 %. Наибольший вклад в средорегулирование вносят коренные темнохвойные (пихтовые, елово-пихтовые и пихтово-кедровые) леса, получившие распространение как в горной части бассейна, так и в предгорьях, однако в последней их доля значительно сокращена вследствие антропогенной деятельности. Разработанные критерии оценки средорегулирующих функций геосистем могут быть применены и для других территорий.

*Ключевые слова:* геосистемный подход, ландшафтное планирование, климаторегулирование, стокоформирование, регулирование эрозии, значимость геосистем, геоинформационный анализ, цифровая модель рельефа.

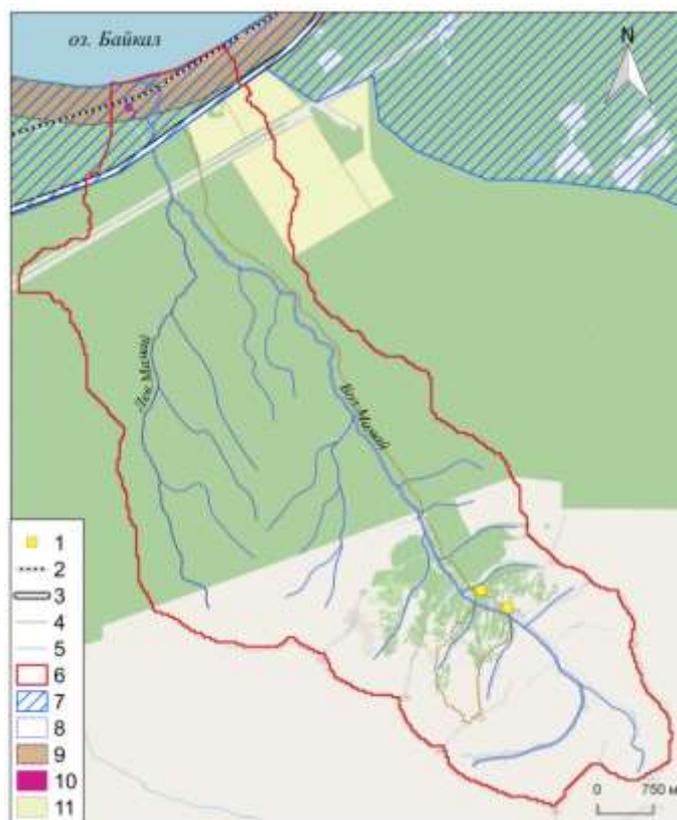
### Введение

Для решения задач территориального, и в том числе ландшафтного планирования, а также организации рационального природопользования на территории, основные виды хозяйственной деятельности должны регламентироваться исходя из анализа функций природных систем. Геосистемы выполняют множество экологических функций (средоформирующих и средорегулирующих) [1–4], обеспечивающих функционирование как отдельных биогеоценозов, так и ландшафтной сферы в целом, а также играют важную роль в обеспечении человека социально-экономическими функциями (продукционными, культурными и т.д.) [1, 5, 6]. Поэтому для организации устойчивого развития территории, сохранения природно-ресурсного потенциала ландшафтов и предотвращения развития неблагоприятных процессов и опасных катастрофических явлений необходимы знания о структуре, особенностях функционирования и развития геосистем [7].

Применение геосистемного подхода [8], подразумевающего, что все компоненты, которые составляют географическое пространство, влияют на динамику функций, считается наиболее перспективным для оценки, как экологических, так и социально-экономических функций в практике ландшафтного планирования [3, 9–13]. А представление об иерархической организации геосистем позволяет соотнести уровни землепользования с соответствующими уровнями дифференциации ландшафтов, что может быть использовано при принятии решений в области землепользования и природопользования в целом [9].

Целью данной работы является оценка потенциала геосистем выполнять средорегулирующие функции (климаторегулирование, стокоформирование, регулирование эрозии) на локальном уровне.

В качестве объекта исследования выбран бассейн реки Бол. Мамай (рис. 1), расположенный в центральной части северо-западного макросклона хребта Хамар-Дабан. Площадь бассейна составляет 37,5 км<sup>2</sup>, длина реки 12 км. Рельеф в горной части бассейна характеризуется сильной расчленённостью с перепадами высот от 600 до 1700 м и крутыми склонами до 30–45°. Предгорная часть бассейна представлена слабонаклонной равниной (0–4°) и террасами оз. Байкал с высотами около 460–600 м.



Условные обозначения: 1 — зимовья; 2 — ж/д; 3 — автотрасса; 4 — тропы; 5 — реки; 6 — границы водосборного бассейна р. Бол. Мамай; 7 — водоохранная зона оз. Байкал; 8 — водоохранные зоны рек; 9 — рыбоохранная зона оз. Байкал; 10 — земельные участки, выделенные под малоэтажную застройку; 11 — земельные участки для с/х производства. Подложка — данные OpenStreetMap в виде WMS-слоя

Рисунок 1. Территория исследования

В соответствии с районированием Прибайкалья [14], исследуемая территория попадает в район с максимальной геоморфологической опасностью. В гольцовом и подгольцовом поясе развиты гравитационные, нивально-криогенные и эрозионные процессы. Для верховий долины р. Бол. Мамай и ее притоков характерно развитие интенсивной снеголавинной активности, скальных оползней, селей, обвалов, солифлюкции. Ниже по течению повышается паводковая активность, на крутых склонах интенсивно проявляются эрозионные процессы (особенно во время ливней) и внутригрунтовый смыв. В предгорной части современные экзогенные процессы практически не выражены [15, 16], частично наблюдается заболачивание.

Климат территории умеренно континентальный, формируется в условиях барьерного эффекта, обусловленного задержкой воздушных масс на северных и северо-западных склонах хребта Хамар-Дабан, и характеризуется повышенной влажностью. Среднегодовые температуры воздуха варьируют от  $-0,3$  до  $-1^{\circ}\text{C}$ . Сумма активных температур (выше  $10^{\circ}\text{C}$ ) на предгорной равнине составляет  $1200\text{--}1400^{\circ}\text{C}$ , в горной части бассейна уменьшается до  $600\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ . Безморозный период длится, в среднем,  $118\text{--}133$  дней в предгорной части, с увеличением абсолютной высоты местности сокращается до 80 дней [17]. Снежный покров в горной части бассейна устанавливается рано (августе–сентябре) и может достигать до 2 м у верхней границы леса, а в предгорной — во второй половине октября (мощностью до 1 м). Среднегодовое количество осадков здесь максимальное для Прибайкалья и достигает  $1500\text{--}1800$  мм у верхней границы леса [17, 18].

Ландшафтная структура территории исследования отличается разнообразием, что обусловлено, как высотно-поясными закономерностями, так и влиянием локальных факторов: горным сильно расчлененным рельефом, активными экзогенными процессами и местными климатическими особенностями (повышенным увлажнением).

Наибольшее распространение на территории получила темнохвойная тайга. В горной части бассейна она представлена пихтовыми и пихтово-кедровыми мелкотравно-черничными лесами на буро-

земах и подбурях, а также елово-пихтовыми и пихтово-еловыми разнотравно-папоротниковыми лесами на мозаиках дерново-подбуров и серогумусовых почв. На предгорной равнине распространены кедровые и пихтово-кедровые мелкотравно-черничные леса преимущественно на подбурях. Подгольцовые кустарниковые и темнохвойно-редколесные геосистемы в сочетании с субальпийскими лугами представлены на высоте 1000–1500 м. В верхней и средней части долины р. Бол. Мамай и в долинах ее притоков геосистемы представлены преимущественно пихтово-еловыми редколесьями с ивой на серогумусовых метаморфизованных почвах в сочетании с высокотравными лугами на темногумусовых почвах, которые на предгорной равнине сменяются тополевыми кустарниково-высокотравными на аллювиальных дерновых и серогумусовых метаморфизованных глееватых почвах [11, 19]. Уникальные климатические условия территории способствовали сохранению большого разнообразия реликтовых видов неморальной флоры, переживших серию плейстоценовых оледенений, которые отмечаются практически во всех типах геосистем, распространенных в бассейне р. Бол. Мамай [19, 20].

Исследуемая территория полностью располагается в пределах центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ), установленной в соответствии со ст. 2 Федерального закона от 1 мая 1999 г. № 94–ФЗ «Об охране озера Байкал», для которой утвержден перечень видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 г., № 2399) для защиты уникальной экосистемы озера Байкал от негативного воздействия и регулирования антропогенной деятельности. Помимо этого, 4 % от общей доли водосборного бассейна р. Бол. Мамай входит в водоохранную зону оз. Байкал, из них 2,4 % также пересекаются с рыбоохранной зоной оз. Байкал (рис. 1), которые установлены в соответствии со ст. 3 ФЗ «Об охране озера Байкал» распоряжением Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 368–р «Об установлении границ водоохранной зоны и рыбоохранной зоны оз. Байкал». Водоохранные зоны рек (рис. 1), где хозяйственная деятельность также жестко регламентируется, из-за малой протяженности водотоков занимают всего 1,3 % от общей площади территории. Ландшафты горной части бассейна занимают земли лесного фонда РФ. Расположение исследуемой территории в зонах с особыми условиями использования территории разных категорий обуславливает высокие требования к сохранению и поддержанию средоформирующих и водоохраных функций геосистем.

Одним из приоритетных видов деятельности, позволяющим обеспечить экологическую безопасность, для ЦЭЗ БПТ считается туризм и рекреация. Исследуемая территория давно используется для самостоятельного туризма (пешего, научно-познавательного) и особенно популярна у любителей горнолыжного спорта (фрирайдинга). В настоящее время в среднем течении р. Бол. Мамай в долине построены несколько зимовий и гостевой дом. Для подъема в гору есть пешеходная тропа (рис. 1). Организованные трассы для спуска отсутствуют. Ранее были проведены работы по обоснованию создания туристско-рекреационного комплекса «Мамай» для развития спортивного и экстремального туризма [16, 21]. Очевидно, что при планировании развития данной деятельности необходимо учесть средоформирующие и средорегулирующие функции ландшафтов, учитывая распространение опасных экзогенных процессов и высокую значимость водоохранной функции ландшафтов.

#### *Методы и материалы*

В качестве основного источника данных была использована составленная ранее ландшафтно-типологическая карта на уровне групп фаций в масштабе 1:50000 для территории бассейнов рек Бол. и Мал. Мамай на основе факторально-динамических рядов [19] (рис. 2) и информации о запасах древесной надземной фитомассы геосистем, рассчитанных в ходе полевых данных [11, 22]. Для характеристики климаторегулирующей функции геосистем произведены расчеты по депонированию углерода в древесине с помощью конверсионных коэффициентов (0,5 для древесной фитомассы) [23]. Значения стока углерода определялись для каждого типа геосистем на уровне групп фаций и интерполировались внутри выделов на основе карты запасов фитомассы (рис. 3 а), в основу лег метод ландшафтно-интерпритационного картографирования [11]. Также, по данным Глобальной базы почвенных данных «Soil Grids and WoSIS» [24] с шагом сетки **0,00226** град. (около 250 м), было определено содержание общего органического углерода (дг/кг) в почве на глубине 0–5 см (рис. 3 б). С помощью инструментов зональной статистики растра производился расчёт средних значений запасов углерода в почве для каждого типа геосистемы на уровне групп фаций.

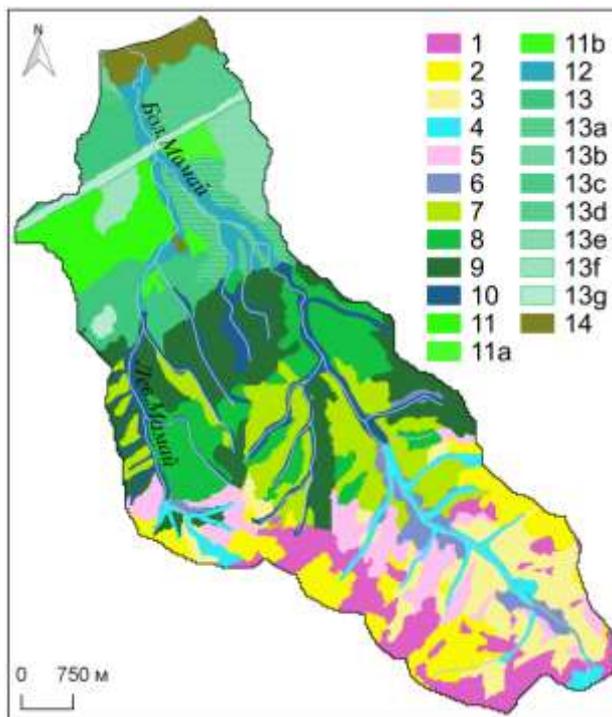
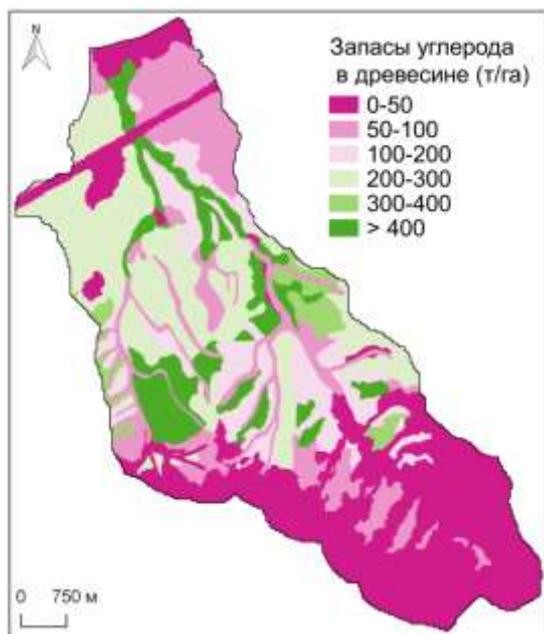
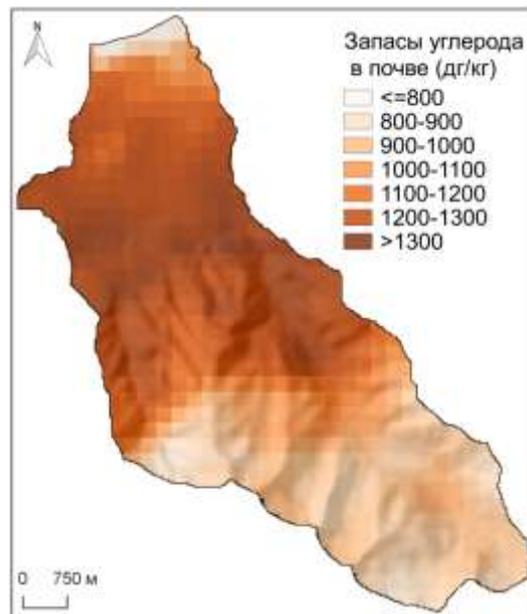


Рисунок 2. Фрагмент ландшафтно-типологической карты [19] на территорию исследования. Номерами (1–14) обозначены группы фаций (легенда представлена в табл. 4)



а — запасы углерода в древесине



б — запасы углерода в верхнем горизонте почвы (0–5 см)

Рисунок 3. Показатели депонирования углерода

Для выделения точных границ бассейна реки Бол. Мамай и последующего анализа рельефа были использованы данные радарной топографической съемки SRTM (пространственное разрешение — 1 угловая секунда, приблизительно 30 м) [25]. С помощью инструментов SAGAGIS цифровая модель рельефа (ЦМР) спроецирована в проекцию «Универсальная поперечная Меркатора» (зона 48N), затем произведена ее первичная обработка: выполнено сглаживание данных с помощью инструмента «SimpleFilter» в двукратной повторности (тип фильтра «сглаживание», форма матрицы сферическая, ради-

ус — 1 пиксель); для устранения локальных впадин выполнена гидрологическая коррекция с помощью модуля «Fill Sinks (Planchon/Darboux, 2001)» [26] (рис. 4 а).

С использованием инструментов гидрологического анализа по ЦМР выделены границы водосборного бассейна реки Бол. Мамай, сгенерированы основные линии стока и произведен расчёт накопления стока «Flowaccumulation» (FA, безразмерная величина) [27] для определения областей водосбора (рис. 4 б). Накопление стока рассчитывается как взвешенная сумма всех ячеек, сток из которых попадает в ячейки, расположенные ниже по склону. Наименьшие значения соответствуют участкам, с которых сток собирается (водоразделы и склоны), наибольшие — участкам с максимальной площадью накопления стока (водосборные понижения и долины рек).

С помощью инструментов морфометрического анализа произведен расчет LS-фактора (произведение длины склона на крутизну), характеризующего потенциал рельефа к развитию опасных экзогенных процессов (рис. 4 в). Также производилось осреднение количественных характеристик для выделов ландшафтной карты с помощью зональной статистики. Помимо этого, произведен подсчет площадей каждого типа геосистем и его доли от общей площади водосбора.

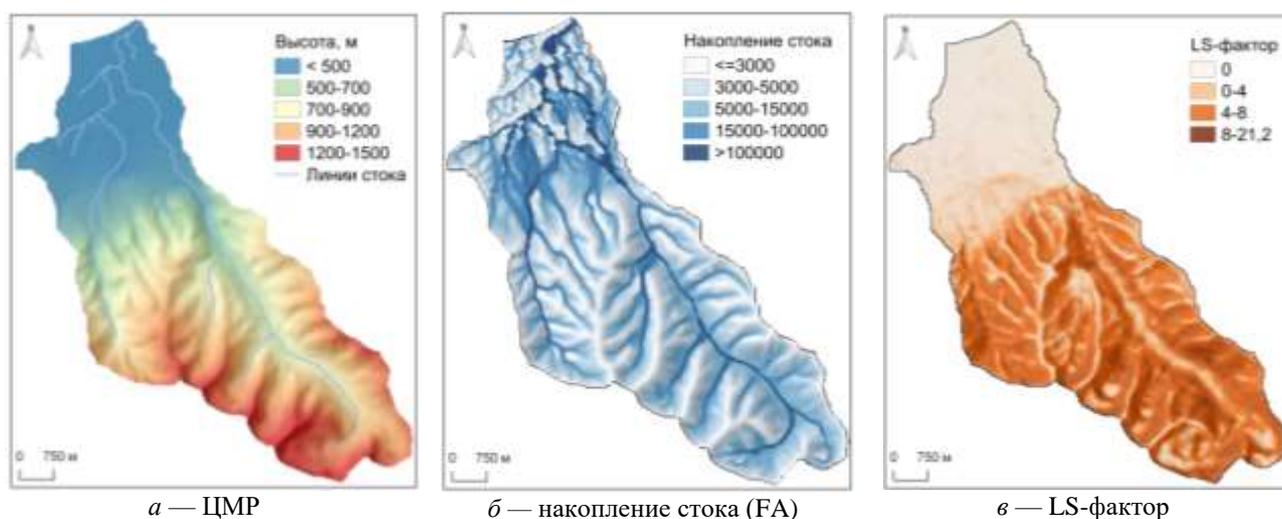


Рисунок 4. Результаты обработки ЦМР для территории водосборного бассейна р. Бол. Мамай

Для качественной оценки средорегулирующих функций все количественные показатели были ранжированы по степени значимости в рамках методики ландшафтного планирования [3, 28]. Для оценки климаторегулирующей функции были ранжированы показатели по депонированию органического углерода в древесине и в верхнем гумусовом горизонте почвы (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

#### Ранжирование количественных показателей по критерию значимости геосистем

Показатели	Уровень значимости		
	низкий (Н)	средний (С)	высокий (В)
Запасы древесной фитомассы, т/га	0–100	100–200	>200
Запасы углерода в древесине	0–50	50–100	>100
Запасы углерода в почве	<1000	1000–1300	>1300
Накопление стока	>100000	<15000	15000–100000

Для косвенной оценки стокоформирующей функции в качестве основных параметров использовались данные о расчете накопления стока (области с показателем <100 000 приняты как области водосбора, которые имеют высокую значимость для стокоформирования) и данные о запасах древесной фитомассы (табл. 2), так как известно, что именно леса выполняют важные гидрологические функции и вносят значительный вклад в формирование и распределение стока [28, 29].

**Критерии для оценки значимости геосистем для стокоформирующей функции**

По показателю стоконакпления (ГА)	Уровень значимости геосистем по показателю фитомассы древостоя		
	высокий	средний	низкий
Высокий (15000–100000)	В	С	С
Средний (<15000)	В	С	Н
Низкий (>100000)	С	Н	Н

Для оценки эрозионнорегулирующей функции геосистем по показателю LS-фактора были определены ландшафты с высоким, средним и низким потенциалом для развития эрозионных процессов и по показателю запасов древесной фитомассы, оценена их значимость для регулирования эрозии (табл. 3).

Таблица 3

**Критерии для оценки значимости геосистем для эрозионностабилизирующей функции**

Потенциал к развитию эрозии (LS-фактор)	Уровень значимости геосистем по показателю фитомассы древостоя		
	высокий	средний	низкий
Высокий (>8)*	В	С	Н
Средний (4–8)	В	С	Н
Низкий (0–4)	С	Н	Н

\*Примечание. Если LS-фактор высокий для геосистем, которые являются областями накопления стока (>100000), то тогда значимость функции по регулированию эрозионных процессов высокая.

### Результаты и их обсуждение

В результате анализа выявлено, что 30,6 % водосборного бассейна р. Бол. Мамай занимают горнотаежные темнохвойные геосистемы, представленные преимущественно пихтовыми и пихтово-кедровыми лесами (табл. 4). Также значительная доля (26,2 %) приходится на субальпийские горно-луговые геосистемы, занимающие склоны и водоразделы в верховьях долины р. Бол. Мамай и ее притоков. На долинские геосистемы приходится всего около 12 %. Свыше 20 % занимают подгорные темнохвойные леса, однако из них 13,2 % представлены длительно производными состояниями.

Анализ климатрегулирующей функции по показателям депонирования органического углерода в древесине показал, что наиболее высокую значимость имеют горнотаежные пихтовые и пихтово-кедровые леса и подгорные кедрово-еловые, кедровые и пихтово-кедровые леса, а также тополевики в предгорной части долины р. Бол. Мамай (табл. 4). Однако показатели запасов углерода в почве возрастают в соответствии с уменьшением гипсометрических отметок высот и максимальны в геосистемах предгорной равнины (рис. 3 б, табл. 4).

При анализе результатов расчета накопления стока были выделены области водосбора и области аккумуляции стока. Наименьший вклад в водосбор вносят водоразделы и приводораздельные части склонов с кедровостланниковыми редколесьями и субальпийскими лугами. Основные области водосбора приходятся на склоновые геосистемы, покрытые темнохвойной тайгой (табл. 4). За счет высоких показателей запасов фитомассы их можно рассматривать как наиболее значимые для стокоформирующей функции. Зоны аккумуляции стока логично концентрируются в долинах рек и водосборных понижениях. Однако в предгорной части бассейна показатель накопления стока достигает максимальных значений не только в долине реки, но и на равнинных участках, занятых производными темнохвойно-мелколиственными лесами. По результатам расчета накопления стока по ЦМР хорошо определяются области, где автомобильная и железная дороги, проходящие по предгорной равнине, служат барьером для стока и способствуют застоянию влаги. В полевых условиях установлено, что это выражается в оглеении почв и заболачивании. Болота, сформированные в устье р. Бол. Мамай (группа фаций № 14, см. рис. 2, табл. 4, 5) и попадающие в водоохранную и рыбоохранную зоны оз. Байкал, выступают не только аккумуляторами стока, но и выполняют стокорегулирующие функции.

Расчет LS-фактора показал, что почти вся горная часть водосборного бассейна имеет высокий потенциал к развитию опасных экзогенных процессов, в первую очередь эрозионных. Основными

стабилизаторами почвогрунта являются елово-пихтовые, пихтовые, пихтово-кедровые леса (группы фаций № 7–9, табл. 4), отличающиеся довольно высокими показателями запасов древесной фитомассы. Осоково-кустарничковые болота и заболоченные пихтовые травянисто-зеленомошные редколесья в подгольцовом поясе, несмотря на низкие запасы древесной фитомассы, также выполняют эрозионно-стабилизирующие функции. Риск развития эрозионных процессов в геосистемах предгорной равнины очень низок, поэтому, с этой точки зрения, значимость для регулирования эрозии невысокая.

На основе проанализированных количественных показателей была составлена оценочная матрица значимости средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай (табл. 5). Геосистемы гольцового и подгольцового поясов (группы фаций № 1–5, табл. 4, 5) отличаются низкими показателями климаторегулирующей функции, но вносят значительный вклад в формирование стока. Именно эти ландшафты пользуются популярностью у туристов-горнолыжников, здесь концентрируются основные неорганизованные маршруты для спусков. Однако данные геосистемы обладают низким потенциалом к регулированию опасных экзогенных процессов, что подтверждается также распространением там лавин [15]. Дополнительная антропогенная нагрузка приводит к фрагментации естественно разреженного растительного покрова на данных участках и может усугублять развитие опасных экзогенных процессов.

Наибольшую ценность с точки зрения регулирующих и стокоформирующих функций имеют горнотаежные темнохвойные леса, которые, в случае проектирования туристско-рекреационного горнолыжного комплекса [21], могут оказаться в зоне риска. Данные геосистемы имеют значительное распространение в пределах водосборного бассейна и вносят основной вклад в формирование стока, сдерживают активизацию эрозионных процессов и, соответственно, регулируют качество вод, поступающих со стоком в Байкал, поэтому имеют водоохранное значение. Анализ правового зонирования территории показал, что в настоящее время данные ландшафты попадают только в ЦЭЗ БПТ и исключены из водоохранной зоны оз. Байкал в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 26 марта 2018 года № 507–р, ранее водоохранная зона оз. Байкал совпадала с границами ЦЭЗ БПТ.

Геосистемы, попадающие в водоохранную и рыбоохранную зону озера Байкал, за исключением осоково-сфагнового болота и высокотравных тополевиц в долине р. Бол. Мамай, представлены производными лесами, сформировавшимися в ходе хозяйственной деятельности человека (преимущественно рубок), вследствие чего их средорегулирующий потенциал снижен.

Таблица 4

## Количественные показатели средорегулирующих функций геосистем бассейна р. Бол. Мамай

№ п/п	Группа фаций*(в соответствии с опубликованной ранее картой [19])	Доля от площади водосборного бассейна, %	Запасы древесной фитомассы, т/га	Содержание органического углерода в почве, дг/кг	Накопление стока (FA)	Вклад в стокоформирование	LS-фактор
1	Березово-кедровостлианиковые редколесья с выходами горных пород на водоразделах и крутых склонах	7,4	50-100	<1000	<15000	Область водосбора	>8,1
2	Разнотравно-папоротниковые луга с редкими кустарниками на водоразделах и крутых склонах	7,3	0-50	<1000	<15000	Область водосбора	>8,1
3	Высокотравно-папоротниковые луга в сочетании с кустарниковыми зарослями на склонах и речных террасах	8	0-50	<1000	15000-100000	Область водосбора	>8,1
4	Высокотравные луга в сочетании с верховыми и переходными осоковыми и осоково-кустарничковыми болотами на водосборных понижениях и в речных долинах	3,5	0-50	<1000	>100000	Область аккумуляции стока	>8,1
5	Пихтовые кустарничковые редколесья на крутых склонах	5,7	50-100	<1000	15000-100000	Область водосбора	>8,1
6	Заболоченные пихтовые травянисто-зеленомошные редколесья на водосборных понижениях и в верховьях речных долин	2,4	0-50	1000-1100	>100000	Область аккумуляции стока	4,1-8
7	Пихтовые с елью и кедром разнотравно-бадановые леса с выходами горных пород на крутых склонах	9,6	100-200	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	>8,1
8	Елово-пихтовые и пихтово-еловые разнотравные и разнотравно-папоротниковые леса на крутых склонах	8,9	> 500	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	>8,1

9	Пихтовые и пихтово-кедровые мелкотравно-черничные леса на выположенных поверхностях	12,1	> 500	1200-1300	15000-100000	Область водосбора	4,1-8
10	Пихтово-еловые леса и редколесья с ивой в сочетании с высокотравными лугами в речных долинах	6,2	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	4,1-8
11	Кедрово-еловые кустарничковые мелкотравно-осоковые сфагновые леса на предгорной равнине	4,7	300-500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
11a, b	Сукцессионные стадии: елово-березовые леса	1,1	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
12	Топольевые с примесью ели и березы кустарничково-высокотравные леса в долинах	3,4	> 500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13	Кедровые и пихтово-кедровые с пихтовым стлаником мелкотравно-черничные леса на предгорной равнине	5,7	> 500	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13a, b	Сукцессионные стадии: березово-кедровые леса	3,6	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13 c, d, e, f	Сукцессионные стадии: темнохвойно-березовые и березовые леса	6,6	100-200	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
13g	Сукцессионные стадии: Зарастающая просека	1,9	0-50	>1300	>100000	Область аккумуляции стока	0-4
14	Осоково-сфагновые и кустарничково-осоково-сфагновые болота в сочетании с заболоченными осоковыми лугами на староречьях в террасах рек	1,9	0-50	<1000	>100000	Область аккумуляции стока	0-4

Т а б л и ц а 5

**Значимость геосистем бассейна р. Бол. Мамай для обеспечения средорегулирующих функций  
(Н — низкая, С — средняя, В — высокая)**

№ группы фаций в соответствии с [19]	Климаторегулирование		Стоко-формирование	Стоко-накопление	Регулирование эрозии
	депонирование углерода в почве	депонирование углерода в фитомассе			
1	Н	Н	С	Н	Н
2	Н	Н	С	Н	Н
3	Н	Н	С	Н	Н
4	Н	Н	Н	В	В
5	Н	Н	С	Н	Н
6	Н	Н	Н	В	В
7	С	С	С	Н	С
8	С	В	В	Н	В
9	С	В	В	Н	В
10	В	С	С	В	С
11	В	В	С	В	С
11a, b	В	С	Н	С	Н
12	В	В	С	В	С
13	В	В	С	В	С
13a, b	В	С	Н	С	Н
13 c, d, e, f	В	С	Н	С	Н
13g	Н	Н	Н	Н	Н
14	Н	Н	Н	В	С

*Заключение*

В настоящее время нет единого подхода к оценке экологических и социально-экономических функций ландшафтов. Однако в практике ландшафтоведения и ландшафтного планирования сформировался методический аппарат, который может быть применим для решения этой задачи. В рамках данной работы на основе ландшафтно-типологической карты произведена оценка ряда средорегули-

рующих функций геосистем. Предложены количественные характеристики, которые могут быть использованы для оценки исследуемых функций для других территорий.

В результате исследования установлено, что высокую значимость для обеспечения средорегулирующих и водоохраных функций в бассейне р. Бол. Мамай имеют пихтовые, елово-пихтовые и пихтово-кедровые леса на склонах в горной части территории. С позиций стока углерода и регулирования климата высокую значимость имеют все коренные темнохвойные леса, как в горной, так и в предгорной части бассейна. Важное стокоформирующее значение имеют гольцовые, подгольцовые и субальпийнотипные геосистемы, при этом они являются наиболее уязвимыми к антропогенному воздействию. Полученные результаты могут быть применены при планировании рекреационной деятельности, а также при разработке водоохраных, лесо- и эрозионно-защитных мероприятий.

*Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы: АААА-А21-121012190056-4).*

### Список литературы

- 1 De Groot R.S. Evaluation of environmental functions as tool in planning, management and decision-making / R.S. De Groot. — Wageningen, 1994. — 85 p.
- 2 Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России / А.А. Тишков; отв. ред. Н.И. Коронкевич; Ин-т географии РАН. — М.: Наука, 2005. — 309 с.
- 3 Дроздов А.В. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии / А.В. Дроздов, Н.А. Алексеев, А.Н. Антипов, Р. Йохансен и др. — М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. — 239 с.
- 4 Кирюшин В.И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования / В.И. Кирюшин // Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2015. — Вып. 80. — С. 16–25.
- 5 Преображенский В.С. Основы ландшафтного анализа / В.С. Преображенский, Т.Д. Александрова, Т.П. Куприянова. — М.: Наука, 1988. — 192 с.
- 6 Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. — Washington (DC): Island Press, 2005. — 155 pp. — Электронный ресурс. — Режим доступа: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- 7 Хорошев А.В. Ландшафтно-экологические ценности при планировании лесопользования / А.В. Хорошев // Лесоведение, 2009. — № 6. — С. 54–62.
- 8 Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.
- 9 Bastian O. Landscape services: The concept and its practical relevance / O. Bastian, K. Grunewald, R.-U. Syrbe et al. // Landscape Ecology. — 2014. — Vol. 29 (9). — P. 1463–1479.
- 10 Tavora G.S.G. An approach to map landscape functions in Atlantic Forest–Brazil / G.S.G. Tavora, A.P.D. Turetta // Ecological Indicators. — 2016. — No. 71. — P. 557–566.
- 11 Vanteeva Y.V. Structure and Phytomass Production of Coastal Geosystems Near Lake Baikal / Y.V. Vanteeva, S.V. Solodyankina // Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series. — 2020. — Vol. 26. — P. 121–137. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_8)
- 12 Vanteeva Y.V. Application of geosystem approach for landscape function assessment at the local level / Y.V. Vanteeva, S.V. Solodyankina // 70 Years Macedonian Geographical Society. — 2019. — P. 15–25. <https://doi.org/10.37658/procgeo1915v>.
- 13 Bastian O. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: Exemplified in a case study in Russia Landscape Ecology / O. Bastian, K. Grunewald, A.V. Khoroshev // Landscape Ecology. — 2015. — Vol. 30 (7). — P. 1145–1164.
- 14 Опекунова М.Ю. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) / М.Ю. Опекунова, С.А. Макаров // Современные проблемы сервиса и туризма. — 2018. — Т. 12, № 3. — С. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
- 15 Агафонов Б.П. Распространение и прогноз физико-географических процессов в Байкальской впадине / Б.П. Агафонов // Динамика Байкальской впадины. — Новосибирск: Наука, 1975. — С. 59–138.
- 16 Абалаков А.Д. Предпосылки создания туристско-рекреационного комплекса «Мамай» в Южном Прибайкалье / А.Д. Абалаков, С.Б. Кузьмин, Д.И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». — 2016. — Т. 17. — С. 3–19.
- 17 Климат и растительность Южного Прибайкалья / ред. Н.П. Ладейщиков, В.Н. Моложников. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. — 151 с.
- 18 Растительность хребта Хамар-Дабан / АН СССР. Сиб. отд.-ние. Лимнологический ин-т; отв. ред. Г.И. Галазий. — Новосибирск: Наука, 1988. — 112 с.
- 19 Солодянкина С.В. Классификация и картографирование топогеосистем методом построения факторально-динамических рядов фаций / С.В. Солодянкина, Ю.В. Вантеева, А.А. Черкашина, В.В. Чепинога // География и природные ресурсы. — 2018. — №3. — С. 164–174. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(164-174\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(164-174)).
- 20 Чепинога В.В. Экопическая приуроченность неморальных реликтовых видов растений на хребте Хамар-Дабан (юг восточной Сибири) по данным сеточного картографирования / В.В. Чепинога, М.В. Протопопова, В.В. Павличенко, С.В. Дудов // Экология. — 2021. — №3. — С. 205–216. <https://doi.org/10.31857/S0367059721030057>.

21 Абалаков А.Д. Территориальное планирование туристско-рекреационного комплекса «Мамай» в Южном Прибайкалье / А.Д. Абалаков, С.Б. Кузьмин, Д.И. Марышкин // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». — 2017. — Т. 19. — С. 3-19.

22 Солодянкина С.В. Изменчивость продукционной функции растительности прибрежных геосистем Прибайкалья / С.В. Солодянкина, Ю.В. Вантеева // География и природные ресурсы. — 2017. — №2. — С. 73-80.

23 Исаев А.С. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, А.И. Уткин, А.А. Пряжников, Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение. — 1993. — № 5. — С. 3-10.

24 ISRIC — World soil information. — 2023. <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20200605>.

25 Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global. — 2023. <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>.

26 Planchon O. A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models / O. Planchon, F. Darboux // Catena. — 2001. — Vol. 46. — P. 159-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3).

27 Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models / D.G. Tarboton // Water Resources Research. — 1997. — Vol. 33, No. 2. — P. 309-319.

28 Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Слюдянский район / Е.Г. Суворов, А.Н. Антипов, Ю.М. Семнов и др. — Иркутск: Из-во Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2002. — 141 с.

29 Гидрологическая роль лесных геосистем / Под ред В.А. Снытко. — Новосибирск: Наука, 1989. — 164 с.

Ю.В. Вантеева

## Жергілікті деңгейде геожүйелердің ортаны реттеуші функцияларын бағалау

Ландшафтық жоспарлау әдістемесі аясында алғаш рет Үлкен Мамай өзені бассейнінің (Байкал көлінің оңтүстік-шығыс жағалауы, Хамар-Дабан жотасы, Бурятия) геожүйелерінің қоршаған ортаны реттеуші функцияларына бағалау жүргізілді. Зерттеуге негіз ретінде 1:50000 масштабтағы фациялық топтар деңгейіндегі ландшафтық-типологиялық карта алынды. Геожүйелердің климатты реттеуші функциясының сандық көрсеткіштері ретінде 0-5 см тереңдіктегі ағаш фитомассасындағы және топырақтың жоғарғы қарашірікті горизонтындағы органикалық көміртегі қоры туралы мәліметтер пайдаланылды. Ағынды түзуші және эрозияны реттейтін функцияларды бағалау үшін ағаш фитомассасының қорлары туралы деректер және жер бедерінің сандық модулі бойынша есептелген ағынды жинақтаудың көрсеткіштері және LS-фактор қолданылған. Деректерді геоакпараттық талдау және ландшафтық-интерпретациялық картографиялау әдістерін қолдана отырып, геожүйелердің әрбір түрі үшін қарастырылатын функцияларды бағалау жүргізілген. Ортаны реттеуші функциялармен қамтамасыз ету үшін геожүйелердің маңыздылық матрицасы құрастырылған. Нәтижесінде Үлкен Мамай өзенінің су жинау бассейнінің аумағында ең көп таралғаны таулы қара қылқан жапырақты тайга (30,6%) және және субальпинотипті тау-шалғынды геожүйелер (26,2%) болды. Алқап геожүйелері шамамен 12% құрайды. Қоршаған ортаны реттеуге бассейнің таулы бөлігінде де, тау бөктерінде де таралған жергілікті қара қылқан жапырақты (самырсын, шыршалы-самырсынды және шыршалы-балқарағайлы) ормандар үлкен үлес қосады, бірақ соңғысында олардың үлесі антропогендік әрекетке байланысты айтарлықтай азайды. Геожүйелердің қоршаған ортаны реттеу функцияларын бағалаудың эзірленген критерийлері басқа аумақтар үшін де қолданылуы мүмкін.

*Кілт сөздер:* геожүйелік тәсіл, ландшафты жоспарлау, климатты реттеу, ағынды суларды қалыптастыру, эрозияны реттеу, геожүйелердің маңыздылығы, геоакпараттық талдау, жер бедерінің сандық моделі.

Yu.V. Vanteeva

## Assessment of environment-regulating functions of geosystems at the local level

Within the framework of landscape planning methodology, for the first time, an assessment of the environment-regulating functions of the geosystems of the river basin Bol. Mamai (south-eastern coast of lake Baikal, Khमार-Daban range, Buryatia) was carried out. A landscape-typological map at the level of facies groups on a scale of 1: 50,000 was the basis for the study. Data on organic carbon storage in tree phytomass and upper humus horizons of soils at a depth of 0-5 cm were used as quantitative indicators of the climate-regulating function of geosystems. To assess the runoff-forming and erosion-regulating functions, data on tree phytomass and flow accumulation indicators, and the LS factor calculated from the DEM were used. The functions were assessed for each type of geosystem using methods of GIS-analysis and landscape-interpretive mapping. A matrix of the importance of geosystems for providing environment-regulating functions has been compiled. As a result, it was revealed that the mountain dark coniferous taiga (30.6%) and subalpinotype mountain-meadow geosystems (26.2%) have the greatest distribution in the drainage basin of Bol. Mamai river. Valley geosystems occupy about 12%. The greatest contribution to environmental regulation is made by indigenous dark coniferous (fir, spruce-fir and fir-cedar) forests, which are widespread both in the mountainous

part of the basin and in the foothills, but in the latter their share has been significantly reduced due to anthropogenic activities. The developed criteria for assessing the environment-regulating functions of geosystems can be applied to other territories.

**Keywords:** geosystem approach, landscape planning, climate regulation, runoff formation, erosion regulation, significance of geosystems, geographic information analysis, digital elevation model.

## References

- 1 De Groot, R.S. (1994). Evaluation of environmental functions as tool in planning, management and decision-making. Wageningen.
- 2 Tishkov, A.A. (2005). Biosferne funktsii prirodnykh ekosistem Rossii [Biosphere functions of natural ecosystems in Russia]. (N.I. Koronkevich, Ed.). Moscow: Nauka [in Russian].
- 3 Drozdov, A.B., Alekseenko, N. A., Antipov, A.N., Johannsen, R. & al. (2006). *Landshaftnoe planirovanie s elementami inzhenernoi biologii [Landscape planning with elements of engineering biology]*. (A.V. Drozdova, Ed.). Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK [in Russian].
- 4 Kiryushin, V.I. (2015). Razvitie predstavlenii o funktsiiakh landshaftov v sviazi s zadachami optimizatsii prirodopolzovaniia [Development of ideas about the functions of landscapes in connection with the problems of optimization of environmental management]. *Biulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva — Bulletin of the Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva*, 80; 16-25 [in Russian].
- 5 Preobrazhensky, V.S., Alexandrova, T.D., & Kupriyanova, T.P. (1988). *Osnovy landshaftnogo analiza [Fundamentals of landscape analysis]*. Moscow: Nauka [in Russian].
- 6 (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington (DC): Island Press. Retrieved from <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- 7 Khoroshev, A.V. (2009). Landshaftno-ekologicheskie tsennosti pri planirovanii lesopolzovaniia [Landscape and ecological values in forest management planning]. *Lesovedenie — Forestry Science*, 6; 54-62 [in Russian].
- 8 Sochava, V.B. (1978). *Vvedenie v uchenie o geosistemakh [Introduction to the doctrine of geosystems]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- 9 Bastian, O., Grunewald, K., Syrbe, R.-U. et al. (2014). Landscape services: The concept and its practical relevance. *Landscape Ecology*, 29 (9); 1463–1479.
- 10 Tavora, G.S.G. & Turetta, A.P.D. (2016). An approach to map landscape functions in Atlantic Forest–Brazil. *Ecological Indicators*, 71; 557–566.
- 11 Vanteeva, Y.V., & Solodyankina, S.V. (2020). Structure and Phytomass Production of Coastal Geosystems Near Lake Baikal. *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales. Landscape Series*, 26; 121–137. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31185-8_8).
- 12 Vanteeva, Y.V., & Solodyankina, S.V. (2019). Application of geosystem approach for landscape function assessment at the local level. *70 Years Macedonian Geographical Society*, 15-25. <https://doi.org/10.37658/procgeo1915v>.
- 13 Bastian, O., Grunewald, K., & Khoroshev, A.V. (2015). The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: Exemplified in a case study in Russia Landscape Ecology. *Landscape Ecology*, 30 (7); 1145–1164.
- 14 Opekunova, M.Yu., & Makarov, S.A. (2018). Otsenka opasnykh geologicheskikh protsessov pri rekreatsionno-turistskoy deiatel'nosti v Pribaikalie (Irkutskaya oblast) [Assessment of hazardous geological processes during recreational and tourist activities in the Baikal region (Irkutsk region)]. *Sovremennyye problemy servisa i turizma — Modern problems of service and tourism*, 12(3); 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311> [in Russian].
- 15 Agafonov, B.P. (1975). Rasprostraneniye i prognoz fiziko-geograficheskikh processov v Baikalskoy vpadine [Distribution and forecast of physical and geographical processes in the Baikal depression]. *Dinamika Baikalskoy vpadiny — Dynamics of the Baikal depression*. Novosibirsk: Nauka, 59-138 [in Russian].
- 16 Abalakov, A.D., Kuzmin, S.B., & Maryshkin, D.I. (2016). Predposylki sozdaniia turistko-rekreatsionnogo kompleksa «Mamai» v Yuzhnom Pribaikalie [Prerequisites for the creation of the tourist and recreational complex “Mamai” in the Southern Baikal region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» — News of Irkutsk State University. Earth Science Series*, 17; 3-19 [in Russian].
- 17 Ladeishchikov, N.P., & Molozhnikov, V.N. (Eds.). (1989). *Klimat i rastitelnost Yuzhnogo Pribaikalia [Climate and vegetation of the Southern Baikal region]*. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdeleniye [in Russian].
- 18 Galaziy, G.I. (Ed). (1988). *Rastitelnost khrebta Hamar-Daban [Vegetation of the Khamar-Daban ridge]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
- 19 Solodyankina, S.V., Vanteeva, Yu.V., Cherkashina, A.A., & Chepinoga, V.V. (2018). Klassifikatsiya i kartografirovaniye topogeosistem metodom postroeniia faktorialno-dinamicheskikh riadov fatsii [Classification and mapping of topogeosystems by the method of constructing factorial-dynamic series of facies]. *Geografiya i prirodnye resursy — Geography and natural resources*, 3; 164-174. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3\(164-174\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-3(164-174)) [in Russian].
- 20 Chepinoga, V.V., Protopopova, M.V., Pavlichenko, V.V., & Dudov, S.V. (2021). Ekotopicheskiya priurochennost nemoralnykh reliktovykh vidov rasteniy na khrebte Hamar-Daban (yugo-vostochnoy Sibiri) po dannym setochnogo kartografirovaniia [Ecotopic occurrence of nemoral relict plant species on the Khamar-Daban ridge (south of eastern Siberia) according to grid mapping data]. *Ekologiya — Ecology*, 3; 205-216. <https://doi.org/10.31857/S0367059721030057> [in Russian].
- 21 Abalakov, A.D., Kuzmin, S.B., & Maryshkin, D.I. (2017). Territorialnoe planirovanie turistko-rekreatsionnogo kompleksa «Mamai» v Yuzhnom Pribaikalie [Territorial planning of the tourist and recreational complex “Mamai” in the Southern Baikal re-

gion]. *Izvestiia Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle» — News of Irkutsk State University. Earth Science Series, 19*; 3-19 [in Russian].

22 Solodyankina, S.V., & Vanteeva, Yu.V. (2017). Izmenchivost produktsionnoi funktsii rastitelnosti pribrezhnykh geosistem Pribaikalia [Variability of the production function of vegetation of coastal geosystems of the Baikal region]. *Geografiia i prirodnye resursy — Geography and natural resources, 2*; 73-80 [in Russian].

23 Isaev, A.S., Korovin, G.N., Utkin, A.I., Pryazhnikov, A.A., & Zamolodchikov, D.G. (1993). Otsenka zapasov i godichnogo deponirovaniia ugleroda v fitomasse lesnykh ekosistem Rossii [Assessment of reserves and annual carbon sequestration in the phytomass of forest ecosystems in Russia]. *Lesovedenie — Forestry, 5*; 3-10 [in Russian].

24 *ISRIC — World soil information* (2003). <https://doi.org/10.17027/isric-wdcsoils.20200605>

25 *Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global* (2023). <https://doi.org/10.5066/F7PR7TFT>

26 Planchon, O., & Darboux, F. (2001). A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models. *Catena, 46*; 159-176. [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3).

27 Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research, 33* (2); 309-319.

28 Suvorov, E.G., Antipov, A.N., Semnov, Yu.M. et al. (2002). Ekologicheski orientirovannoe planirovanie zemlepolzovaniia v Baikalskom regione. Sliudianskii raion [Environmentally oriented land use planning in the Baikal region. Slyudiansky district]. Irkutsk: Izdatelstvo Instituta geografii imeni V.B.Sochavy Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk [in Russian].

29 Snytko, V.A. (ed.) (1989). *Gidrologicheskaiia rol lesnykh geosistem* [Hydrological role of forest geosystems]. Novosibirsk: Nauka [in Russian].

### Information about authors

**Vanteeva, Yulia Vladimirovna** — Candidate of geographical sciences, Researcher of the Laboratory of Theoretical Geography, the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia; [ula.vant@mail.ru](mailto:ula.vant@mail.ru).