

Т.И. КОНОВАЛОВА

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, konovalova@irigs.irk.ru

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОСИСТЕМ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

Предложены методологические основы исследования трансформации геосистем Байкальской природной территории, характеризующейся различными геодинамическими режимами. Методология разработана с учетом открытости, нелинейности и когерентности взаимосвязей геосистем. Трансформация геосистем рассматривается в контексте изменения их существенных свойств в результате проявления преобразующей динамики и эволюции. Установлено, что модификация геосистем региона за время позднего кайнозоя во многом была вызвана тектоническими процессами, которые определили изменения в составе горных пород, рельефе, климате, характере циркуляции атмосферы, среды осадконакопления. Выявлена нелинейность проявления связей геосистем в пределах предрифтовых зон, Ангаро-Витимского батолита, крупных разломов с повышенным притоком эндогенного тепла. Установлено, что в районах интенсивной хозяйственной деятельности за счет когерентного усиления естественного тренда преобразований антропогенным воздействием формируется аналог трансформации геосистем плиоцена.

Ключевые слова: геосистема, механизмы трансформации, преобразующая динамика, эволюция, тектоника, климат.

T.I. KONOVALOVA

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, konovalova@irigs.irk.ru

METHODOLOGY OF INVESTIGATING THE TRANSFORMATION OF GEOSYSTEMS OF GEOTECTONICALLY ACTIVE REGIONS

The methodological fundamental are suggested for investigating the transformation of geosystems of the Baikal Natural Territory characterized by different geodynamical regimes. The methodology has been developed with due regard for the openness, nonlinearity and coherence of the relationships of geosystems. The transformation of geosystems is considered in the context of changes in its substantial properties as a result of the emergence of the transforming dynamics and evolution. It is established that the modification of geosystems of the region during the Late Cenozoic was largely caused by tectonic processes which determined changes in the composition of rocks, relief, climate, the pattern of the atmospheric circulation, and in the sedimentation environment. The study revealed the nonlinearity of the manifestation of the relationships of geosystems within pre-rift zones, the Angara-Vitim batholith and large faults with an increased influx of endogenous heat. It is established that an analog of the transformation of Pliocene geosystems is formed through a coherent enhancement in the natural trend of transformations in regions of intense economic activity.

Keywords: geosystem, transformation mechanisms, transforming dynamics, evolution, tectonics, climate

ВВЕДЕНИЕ

Современные географические исследования посвящены вопросам оценки и прогноза изменений окружающей среды регионов. Их решение основывается на изучении геосистем, состоящих из значительного числа компонентов и их изменчивых взаимосвязей. Это определяет необходимость развития системной методологии географических исследований, т. е. изучения и конструирования природных объектов как систем. При таком подходе геосистемы рассматриваются как особый класс управляющих систем, которые формируются и развиваются в пространстве и времени как единое, взаимообусловленное целое, где их информационные связи подчинены влиянию вышестоящей геосистемы на подчиненные.

В настоящее время суть понятия трансформации геосистем, ее механизмы остаются поисковыми. В большинстве исследований антропогенный фактор считается ведущим в оценке характера преобразования геосистем, в связи с чем принято изучать только их современные изменения. Существует неопределенность в понимании направления и масштабов изменений природной среды на региональном уровне иерархии геосистем, что создает значительные проблемы для их охраны и рационального природопользования.

Цель данной работы — разработка методологии исследования трансформации геосистем геотектонически активных регионов как основы решения задач, связанных с охраной природы и рациональным природопользованием.

Исследования базируются на информационном синтезе данных и знаний о районах Сибири, использовании методов комплексных физико-географических исследований, сравнительно-географического, полевых маршрутных наблюдений, дешифрирования космических снимков с искусственных спутников Земли Landsat-8 (OLI), NOAA-20 (VIIRS).

Объект исследования — геосистемы Байкальской природной территории (БПТ). В ее пределах проявляются разнообразные геодинамические режимы: древней Сибирской платформы, Байкальской рифтовой (БРЗ) и предрифтовой зон, Саянской горной области. Отличительной особенностью БПТ является сочетание гумидных, семиаридных и отчасти аридных типов геосистем, которые сформировались под воздействием как широтных закономерностей, так и высотной поясности и рифтогенеза с трансформирующимися тепловыми потоками.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОСИСТЕМ

Исследование трансформации геосистем базируется на представлении о них как открытых иерархически организованных динамических системах, что обуславливает нелинейность и когерентность их взаимосвязей. Нелинейность определяет различные реакции геосистемы на одинаковое внешнее воздействие, которые зависят от характера взаимосвязей, стадий развития и др. Когерентность — согласованность протекания процессов, в результате которых сложение большого числа малых величин дает мощный эффект, способствующий проявлению необратимых преобразований. Открытость означает обмен веществом, энергией и информацией между ними. Траектория передачи информации связана с направлением сверху вниз — от планетарного уровня иерархии геосистем к топологическому. В специфических условиях района исследований совершается, с одной стороны, уравнивание негэнтропии (критерий упорядоченности внутренней структуры, информации) и энтропии (мера неупорядоченности внутренних взаимосвязей геосистемы), когда геосистема стабилизируется и снижается потенциал ее развития. С другой стороны, активное проявление тектонических процессов, обусловленное развитием БРЗ, определяет преобладание энтропии над негэнтропией, что способствует развитию преобразующей динамики в геосистемах и их эволюции.

Особенности трансформации геосистем района исследований определяются их генезисом. Согласно В.Б. Сочаве [1], под генезисом понимаются все аспекты истории развития геосистем и происходящие при этом трансформации до становления их современной структуры. При исследовании рассматривается не столько история изменения ландшафтных обстановок, сколько раскрытие связей геосистем, подобных современным, которые начали формироваться в позднем кайнозое. Когерентное усиление процессов преобразующей динамики с однонаправленными антропогенными воздействиями активизирует необратимые преобразования геосистем. Трансформация геосистем свойственна всем иерархическим уровням, имеет временной и пространственный характер и происходит под воздействием преобразующей динамики и эволюции геосистем.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Расположение района исследований на границе геодинамически активных зон обусловило необходимость комплексной реконструкции трансформации геосистем с учетом как климатических, так и тектонических преобразований. В связи с этим особый интерес вызывают работы, рассматривающие связь этих изменений.

Очевидно, что существует зависимость между климатом, рельефом и орографией. Считается, что охлаждение глобального климата за последние несколько миллионов лет может быть связано с уменьшением содержания CO_2 в атмосфере, вызванным усилением процесса выветривания в тектонически активных регионах [2]. Климатический оптимум середины миоцена признается самой теплой фазой

в истории Земли за последние 15 млн лет. Поднятие Гималаев в позднем миоцене оказало влияние на глобальную атмосферную циркуляцию, развитие Азиатского муссона, последующее похолодание климата.

Утверждается, что плиоцен характеризуется близкими к современному уровню концентрациями CO_2 в атмосфере и палеогеографической обстановкой, что позволяет использовать знания о природных условиях этой эпохи в качестве аналога грядущих преобразований. На основе анализа экстремальных и длительных теплых событий за последние 100 млн лет сделан вывод о том, что новый потенциальный аналог этой эпохе возник в 1991 г. [3, 4]. Вместе с тем из-за временных масштабов, необходимых для удаления CO_2 из атмосферы, антропогенные выбросы этого газа будут способствовать дальнейшему потеплению климата в течение более чем тысячелетия. В связи с этим трансформация природных условий в эпоху миоцена также может в последующем служить основой прогноза преобразования окружающей среды, но региональное и сезонное выражение преобразований может быть значительным [5, 6]. Обратные связи между различными геосферами Земли признаются в качестве факторов влияния на изменения ландшафтов, произошедшие за последние 11 700 лет в межледниковый период, называемый эпохой голоцена.

Анализ трансформации геосистем БПТ за время позднего кайнозоя показал, что она во многом была вызвана тектоническими преобразованиями, которые определили изменения в составе горных пород, рельефе, климате, характере циркуляции атмосферы, господствующей среды осадконакопления. Например, в мезозойскую эру ранний этап рифтогенеза сопровождался интенсивным эндогенным тепловым прогревом. Это определило формирование одной из крупнейших на Земле гранитных провинций, которая представлена Ангаро-Витимским батолитом — интрузивным массивом, площадью около 200 000 км². Выяснилось, что в районе выхода древних гранитов кислого состава темнохвойная тайга распространена от уровня Байкала до высокогорий. Вне области распространения таких гранитов развита светлохвойная, преимущественно лиственничная тайга.

Трансформация геосистем отчетливо проявилась около 5–6 млн л. н., когда наступила активная стадия развития Байкальской рифтовой зоны. Она совпала с началом последнего этапа горообразования в Восточном Саяне. Тектонические преобразования произошли также и на Сибирской платформе, чей фундамент был разбит крупными разломами, которые в дальнейшем служили рубежами формирующихся геосистем. В плиоцене подъем хребтов и нагорий привел к прекращению влияния тихоокеанского муссона, развитию Сибирского антициклона, усилению западного переноса воздушных масс. Формируется умеренный климат со средними летними температурами на 7 °С ниже показателей миоцена, для которого характерны четкая сезонная дифференциация и аридизация [7].

Происходят преобразования господствующей среды осадконакопления с кислой на щелочную и литогенетического типа осадков (снижение содержания глинистых осадочных толщ, прекращение углеобразования, накопление известняков и молассовых толщ на окраине платформы). Распространяются лесостепные геосистемы, приспособленные к более интенсивному солнечному освещению, к возросшей сухости воздуха и зимним заморозкам. В южных аридных областях усиление континентальности климата, дифференциация рельефа и новый тип литологического состава пород вызывают сокращение поверхностного стока, замещение лесов степями.

В плейстоцене мощные тектонические поднятия блоков земной коры до 2 тыс. м способствовали возникновению орографических преград, оказавших заметное влияние на усиление Сибирского антициклона и обострение континентальности климата. Произошло формирование и длительное сохранение снежного покрова, развитие горно-долинного оледенения и многолетней мерзлоты. Зарождается тайга, которая дифференцируется на темнохвойную в горах и на возвышенных участках плоскогорья и светлохвойную на большей части региона. На севере Байкала в районах максимального оледенения сформировался своеобразный темнохвойно-таежный комплекс с кедром сибирским, кедровым стлаником, горно-тундровыми кустарничками.

Изменение вещественно-энергетического обмена в геосистемах региона в связи с оледенением привело к их трансформации и формированию на юго-восточных и северо-западных участках побережья Байкала полосы подгольцовой растительности с кедровым стлаником и лиственницей, которая по мере развития оледенения мигрировала из высокогорий к побережью Байкала и сохранилась в этих районах благодаря экологическим нишам.

Разнообразие состава интрузивных пород батолита обусловило значительную дифференциацию показателей и темпов вещественно-энергетического обмена в горных забайкальских лиственнично-таежных группах фаций. В пределах батолита зачастую не обнаруживается их зависимость от возрастания высот над уровнем моря, но при этом имеются различия в структуре и биотической продуктивности, связанные с составом горных пород.

Вместе с тем вещественные и энергетические связи геосистем трансформировались также в районах воздействия плюмов — колонн аномально горячей мантии, свойственных рифтовой зоне. В Прибайкалье фиксируется крупнейшая аномалия среди известных тепловых максимумов вне областей активного вулканизма. Помимо этого, на общем повышенном термическом фоне происходит более значительный вынос глубинного тепла в зонах крупных древних разломов и котловин байкальского типа. Установлено, что приток эндогенного тепла способствует сохранению миоцен-плиоценовых реликтов флоры и почв [8, 9].

Дальнейшая трансформация геосистем в голоцене сопряжена с когерентным усилением взаимосвязи процессов горо- и рифтообразования. Заметная роль в преобразовании территории принадлежит южному выступу Сибирской платформы и расширяющейся БРЗ. Происходит формирование предрифтовых зон (рис. 1).

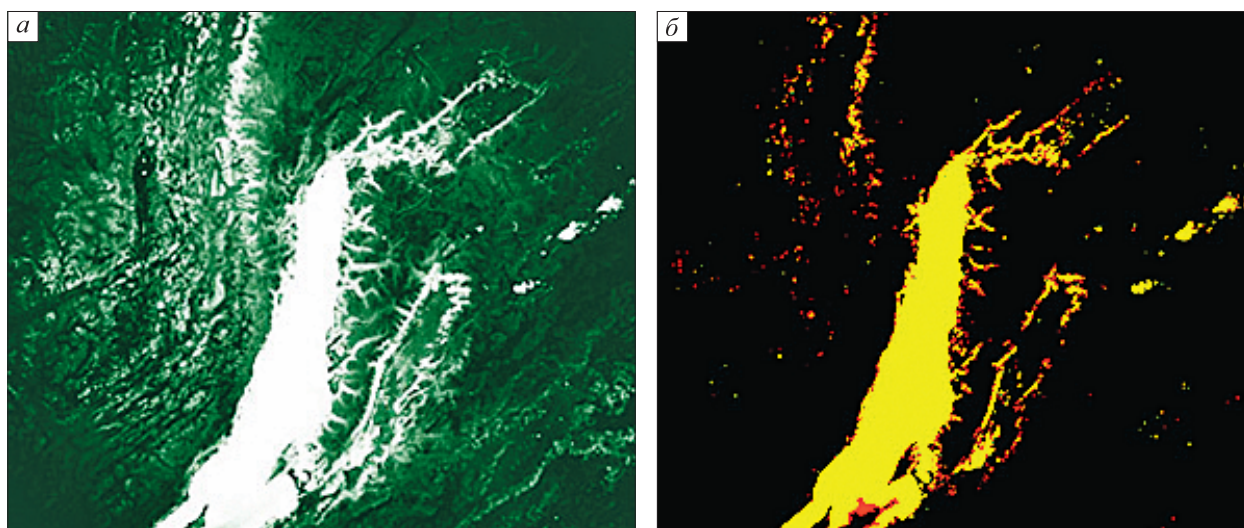


Рис. 1. Рельеф (а) и приток эндогенного тепла (б) в зоне воздействия БРЗ на снимке со спутника NOAA-20 (радиометр VIIRS).

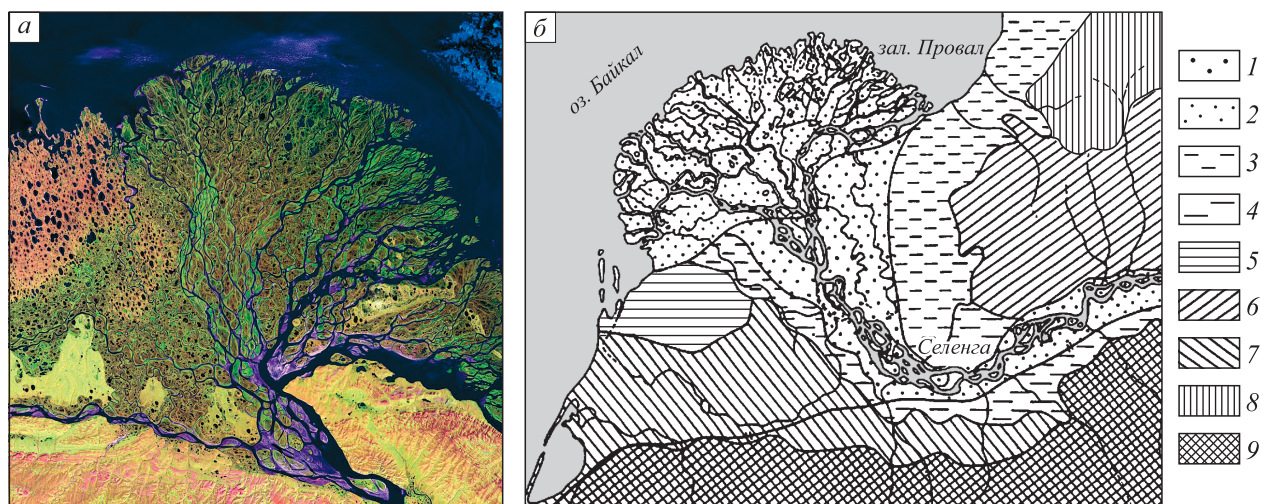


Рис. 2. Разломы и участки опускания микроблоков земной коры в районе р. Селенги (снимок со спутника Terra (MODIS), 08.07.2013) (а) и схема ландшафтов района дельты Селенги (б).

Ландшафты: 1 — дельтовые болотные и лугово-болотные, 2 — долинные лугово-болотные и проточного увлажнения, 3 — подгорно-долинные сухостепные, 4 — подгорно-долинные лугово-степные, 5 — светлехвойные высокогорных песчаных увалов озерно-речной аккумуляции, 6 — светлехвойные высокогорных террас и подгорных шлейфов, 7 — подгорно-долинные лугово-болотные гидроаккумулятивные и солончаковые болотные озерно-тектонического происхождения, 8 — лиственнично-таежные травяные, 9 — предгорных возвышенностей таежные светлехвойные.

Наиболее существенные преобразования отмечаются в пределах Лено-Ангарского плато, расположенного на Сибирской платформе. Здесь амплитуды вертикальных движений достигли 1000 м. В районе пересечения Жигаловского разлома платформы и древней субмеридиональной Саяно-Таймырской разломной зоны сформировался крупный надвиг из-за интенсивного сжатия, происходящего под воздействием БРЗ. Это способствовало образованию на севере Лено-Ангарского плато наиболее возвышенного тектонически активного района, где происходит формирование горного рельефа, развитие темнохвойной тайги и подгольцовых редколесий [10].

Тектонические движения ускоряют трансформацию геосистем, создавая высокую контрастность ландшафтов на близко расположенных участках. Примером может служить район дельты Селенги. Здесь, несмотря на близкое расположение, сформировались существенно различающиеся геосистемы. Ветви мощных разломов видны на космическом снимке как прямолинейные участки проток Селенги (рис. 2).

Геосистемы региона сохраняют сложившиеся в эпоху плейстоцена тенденции своего развития, связанные с процессами аридизации. Характерной чертой изменения современного климата является учащение и усиление экстремальных погодных явлений как следствие увеличения числа случаев атмосферных блокировок, которые определяют нарушение западного переноса воздушных масс и тем самым экстремальные засушливые периоды [11]. В многолетнем ходе температуры почв также наблюдаются устойчивые положительные тренды, что вызывает снижение глубины их сезонного промерзания со скоростью от 1,2 до 6 см/год.

Это привело к преобразованию процессов почвообразования в регионе, прежде всего в подтаежных геосистемах. Происходит остепнение почв, которое выражается в приближении к их поверхности карбонатного горизонта, появлении солонцеватости, в уплотнении, образовании столбчатой структуры. Сложившиеся тенденции преобразования региональной структуры геосистем свидетельствуют о дальнейшем развитии процессов аридизации.

Темнохвойная тайга Иркутского амфитеатра платформы функционирует в условиях сухого континентального климата, который сформировался в плиоцене. Их функционирование тесно связано с многолетней мерзлотой, поставляющей влагу корням деревьев и смягчающего воздействия микроклимата лесов. Нарушение этих связей приводит к замене этих геосистем длительно-производными светлохвойными, преимущественно лиственничными.

Для значительной части региона характерны проблемы, связанные с интенсивной антропогенной деятельностью. Здесь сосредоточены крупные промышленные центры Сибири, принадлежащие к числу наиболее крупных в России загрязнителей окружающей среды. Эксплуатация месторождений нефти и газа, пожары на значительной по площади территории, пашни, вырубки лесов определяют современные преобразования геосистем, особенно в районе экологической зоны атмосферного влияния БРЗ. Происходит трансформация вещественных и энергетических связей геосистем при формировании «островов тепла», загрязнении среды и др. Даже низкая концентрация загрязняющих веществ, в частности SO_2 , в районах техногенного воздействия крупных промышленных центров приводит к повышению активности транспирации растений и развитию процессов их обезвоживания, которые на юге региона в период начала вегетации сопровождаются экстремально низкими значениями относительной влажности воздуха, характерными сухостепным условиям. В сфере интенсивного техногенного воздействия отмечается снижение прироста сосняков, очаговое усыхание, отсутствие возобновления. Дополнительный привнос минеральных элементов создает условия повышенной конкурентоспособности мелколиственных и лугово-степных сообществ.

Все это подтверждает целесообразность использования знаний о природных условиях плейстоцена в качестве аналога для прогноза будущих преобразований в районе БПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методология исследования трансформации геосистем базируется на учете открытости, нелинейности и когерентности их взаимосвязей. Трансформация геосистем анализируется в контексте изменения их существенных свойств в результате проявления преобразующей динамики и эволюции геосистем. Преобразования геосистем БПТ сопряжены с когерентным усилением геодинамических процессов БРЗ и Саянской горной области, что вызывает реорганизацию вещественных и энергетических связей не только в пределах геодинамически активных территорий, но и в районе Сибирской платформы. Трансформация геосистем связана с движениями литосферных плит и блоков земной коры, расширением БРЗ, развитием Саянской горной системы, эндогенным притоком тепла. Измене-

ния геосистем, сложившиеся в плиоцене, сохранили тенденции развития процессов аридизации. Отмечается нелинейность реакции геосистем в районах воздействия эндогенного тепла. В южных районах БПТ в настоящее время формируется потенциальный аналог трансформации геосистем в плиоцене за счет когерентного усиления естественных преобразований однонаправленным антропогенным воздействием.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА–А17–117041910167–0) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20–05–00253.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сочава В.Б.** Структурно-динамическое ландшафтоведение и географические проблемы будущего // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1967. — Вып. 16. — С. 18–31.
2. **Pogge von Strandmann Ph.A.E., Hendry K.R., Hatton J.E., Robinson L.F.** The response of magnesium, silicon, and calcium isotopes to rapidly uplifting and weathering terrains: South Island, New Zealand // Journ. Frontiers in Earth Science. — 2019. — Vol. 7 [Электронный ресурс]. — <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00240> (дата обращения 10.08.2020).
3. **Haywood A.M., Ridgwell A., Lunt D.J., Hill D.J., Pound M.J., Dowsett H.J., Dolan A.M., Francis J.E., Williams M.** Are there pre-Quaternary geological analogues for a future greenhouse warming? // Philosophical Transactions of the Royal Society: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. — 2011. — Vol. 3, N 13. — P. 933–956.
4. **Salzmann U., Williams M., Haywood A.M., Johnson A., Kender S., Zalasiewicz J.** Climate and environment of a Pliocene warm world // Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology. — 2011. — Vol. 309, issues 1–2. — P. 1–8.
5. **Lunt D.J., Farnsworth A., Loptson C., Foster G.L., Markwick P., O'Brien C.L., Pancost R.D., Robinson S.A., Wrobel N.** Palaeogeographic controls on climate and proxy interpretation // Climate of the Past. — 2016. — Vol. 12. — P. 1181–1198.
6. **Hofman C.A., Rick T.C., Fleischer R.C., Maldonado J.E.** Conservation archaeogenomics: Ancient DNA and biodiversity in the Anthropocene // Trends in Ecology and Evolutio. — 2015. — Vol. 30, N 9. — P. 540–549.
7. **Синицын В.М.** Природные условия и климаты территории СССР в раннем и среднем кайнозое. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. — 104 с.
8. **Котовщикова М.А.** Развитие геосистем Южного Прибайкалья в условиях Байкальской рифтовой зоны // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 2. — С. 54–61.
9. **Кузавкова З.О.** Формирование своеобразия пространственной организации геосистем западного макросклона Баргузинского хребта // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2020. — Т. 31. — С. 48–57.
10. **Коновалова Т.И., Ноговицын В.Н.** Пространственно-временные преобразования геосистем Лено-Ангарского плато // Изв. Ирк. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2017. — Т. 21. — С. 68–79.
11. **Максютова Е.В., Кичигина Н.В., Воропай Н.Н., Бальбина А.С., Осипова А.П.** Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории // География и природ. ресурсы. — 2012. — № 4. — С. 72–80.

Поступила в редакцию 01.10.2020

После доработки 12.10.2020

Принята к публикации 20.10.2020