

СОДЕРЖАНИЕ

Том 154, номер 2, 2022

Предмет географических исследований: метатеоретический подход <i>А. К. Черкашин</i>	3
Топологическое представление геокомпонентов <i>Ю. Г. Тютюнник</i>	22
Сложности ведения бизнеса в Арктике и в северных регионах России <i>С. П. Земцов, В. Л. Бабурин, Ю. В. Царева</i>	37
Климатические изменения в нагорьях центральной Шри-Ланки (1866–2019 гг.) <i>С. Е. Витковская, А. Р. Хану Араччиге</i>	52
Эмпирическая модель термической структуры малого полимиктического озера для периода открытой воды <i>Н. И. Пальшин, Т. В. Ефремова, С. Р. Богданов, А. Ю. Тержевик, Г. Э. Здорвеннова, Р. Э. Здорвеннов</i>	61

ПРЕДМЕТ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: МЕТАТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

© 2022 г. А. К. Черкашин*

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

**E-mail: akcherk@irmok.net*

Поступила в редакцию 02.02.2022 г.

После доработки 25.03.2022 г.

Принята к публикации 31.03.2022 г.

Обсуждается проблема выделения предмета географической науки, позволяющего отобразить фундаментальные свойства географических исследований: пространственность, системность, комплексность, конструктивность, междисциплинарность, уникальность, средообусловленность, средовая относительность, конкретность, сравнительность, внутреннее единство и сквозной характер изучения разнокачественных территориальных объектов как систем разного рода (полисистем, метагеосистем). Проблема решается в иерархии особым образом организованного знания по уровням представления и обобщения научной информации: инвариантные показатели, эмпирические и расчетные данные, понятийные знания, концептуальные модели, системные теории, метатеории и математика. Самостоятельно география может существовать только на метатеоретическом уровне наравне с философско-логическим и математическим анализом информации, основанном на процедурах расслоения на многообразиях связи характеристик земного пространства и пространства данных и знаний на непересекающиеся множества (слои) разного рода. Многообразия в качестве баз расслоения в обобщенном смысле рассматриваются как ландшафты географической среды, обычно скрытые от прямого наблюдения. География похожа на другие науки, но своими методами преимущественно изучает уникальные явления, что на метатеоретическом уровне выражается в познании конкретных объектов через учет своеобразия географической среды. Предлагаются математические теории, модели и методы реализации процедур разноуровневого расслоения географических знаний и их логической интерпретации.

Ключевые слова: информационные уровни, системные теории, метатеория, касательные расслоения, ландшафтное многообразие, математический и логический анализ данных

DOI: 10.31857/S0869607122020021

ВВЕДЕНИЕ

В научных исследованиях и в образовательной практике необходимо точно и ясно понимать предмет изучения объектов действительности, т.е. своеобразие понятий, средств и методов решения поставленных задач, что демонстрирует уникальность науки в ряду других наук, а также указывает на смежные области знаний, из арсенала которых могут заимствоваться необходимые способы решения. Предмет географических исследований — особый случай в определении предметной области науки по причине разнонаправленности интересов географии, пересекающихся и конкурирующих с интересами других областей знания, наподобие своеобразной философии существова-

ния всего на Земле. В этом заключается парадоксальность познавательной ситуации, препятствующей формированию и развитию географии как фундаментальной науки.

Спор о предмете географии — весьма давний, и продолжается до настоящего времени с разных позиций специалистами различных географических дисциплин и методологами науки [3, 5, 11, 17, 19, 24, 26, 30]. Единого мнения по этому поводу нет, что затрудняет изучение наблюдаемых процессов и явлений и отнесение полученных знаний к географическому или негеографическому содержанию. При рецензировании рукописей и оппонировании диссертаций постоянно возникает дискуссия по поводу — относятся ли представленные результаты исследований к географическим или нет? Проблема остается актуальной, теоретически и практически значимой и трудно разрешимой из-за отсутствия объективных критериев принадлежности. Обсуждая развитие взглядов на предмет, содержание и задачи географии, А.Г. Исаченко [11] отмечал, что любая наука не может застыть на одном месте, что заставляет постоянно пересматривать предложенные ранее ее определения, и возникает потребность в систематизации старых и выделении новых направлений развития географии.

Существует множество суждений относительно предмета исследований географической науки, имеющих различную важность и релевантность обсуждаемой проблеме. Необходимо переосмыслить накопленный опыт и знания с общих метатеоретических позиций, определить подобающее им место в системе знаний, выделить особо важные, существенные представления, скорректировать понятия и термины, наделив их новыми значениями, обеспечивающими естественное применение математических формул при решении научных задач и в прикладных расчетах. Многие из этих вопросов обсуждались ранее [32–34], однако новые результаты анализа проблемы заставляют вернуться к теме для уточнения предметного положения географии в системе наук, основываясь на опыте натурных маршрутных и стационарных исследований, обработки пространственной информации, математического моделирования и геоинформационного картографирования.

СВОЕОБРАЗИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ

География — древнейшая наука наряду с математикой, историей и философией [18], и в этом смысле альфа и омега, начало и вершина формирования научного знания. Перечисленные науки требуют от исследователя высокой энциклопедичности, широты и глубины осмысления фактов. Такая особенность неслучайна, и подобное странное для многих изначальное соседство географии с науками мировоззренческого порядка указывает на ее высокое место в познании окружающего мира и предсказывает, какой должна быть география в будущем в системе метатеоретического познания.

География прежде всего связывается с объектом своего исследования: описание и изучение Земли [5]. Задача великих географических открытий прошлого — поиск таинственных неведомых земель, приведение их в известность и картографирование для информационного обеспечения нового хозяйственного и транспортного освоения. Вместе с тем Земля, географические явления и их взаимосвязи становятся разномасштабным объектом изучения практически всех наук, что дублируется в названиях отраслей географии: физическая, экономическая, политическая и иная география. О.А. Константинов [15] давно отмечал, что все географические науки одновременно принадлежат к соответствующим специальным наукам, например, фитогеография и зоогеография также являются науками биологическими, климатология и гидрология — физическими, историческая география — исторической, медицинская география — медицинской, экономическая география — экономической и т.д. В этом смысле понятны справедливые слова Э. де Суза [25, с. 56], что “многие статьи в наших журналах, доклады на профессиональных конференциях — не более чем дилетантское барахтанье в пред-

метах смежных наук”. Также подчеркивается, что для социально-экономической географии характерно размывание тематики по множеству новых направлений исследований, представляющих собой пересказ сделанного в других науках с некритичным использованием их методов [21].

Формируется мнение о ненужности географии и возможности заменить ее знаниями специальных наук подобно тому, как это реализуется в позитивистском течении в науке, полагающем ненужность философии для познания мира. Такое мнение постоянно демонстрируется до настоящего времени, что требует строгого отделения географического от негеографического знания. С другой стороны, эта особенность организации и проведения междисциплинарных исследований в географии открывает большие возможности для творческого ума, не ограничивающего себя узкой тематикой одной области знаний, а стремящегося познать земной мир в целом во всех аспектах его существования: как писал Н.Н. Баранский, “от геологии до идеологии”. В.В. Докучаев отмечал, что необходима особая наука о законах взаимоотношения в живой и мертвой природе с учетом воздействия человека, а не “расплывающаяся” во все стороны география. Однако опыт его междисциплинарных комплексных исследований стал основой формирования современного ландшафтоведения.

И. Кант разделял науки на систематические (математика, физика, биология), хронологические (история) и хорологические (география) [10]. Пространственный аспект изучения территорий отражает сущность хорологической концепции А. Геттнера [6]. До сих пор считается, что основу географии для восстановления своих позиций в науке должны составлять собственно пространственные исследования [21]. Особенностью географического мышления, по Н.Н. Баранскому [4, с. 143], является мышление, привязанное к территории, кладущее все суждения на карту, связанное и комплексное. Считается, что геопространственная парадигма обеспечивает географизацию остального научного знания [1], способствует формированию пространственных наук в других областях знаний. Без пространственного, хорологического подхода не может быть географии, но хорологический подход сам по себе не создает географию [11]. В дополнение к традиции, восходящей к К. Риттеру — считать основным предметом географии пространство и его заполнение — существовала другая традиция: видеть предмет географии в ландшафте в его узком и очень широком понимании, не исключая са크рального содержания [30]. Здесь прослеживается еще одна особенность географической науки — эквивалентность при определенных условиях объекта и предмета, когда, например, ландшафт трактуется в индивидуальном (объект), типологическом (предмет), специальном (геокомплекс) и общем (геосистема) смысле.

По мнению В.С. Преображенского [26, с. 19], география — система наук, избравшая для своего изучения гетерогенный по составу и сложный по истории развития и внутренним связям объект действительности, включающий природную и общественную составляющие. Это определяет своеобразие географической картины мира [22], объединяющей научные знания современной географии и отражает единое представление о взаимодействии природы и общества, что позволяет на философском, общеоисторическом уровне осмысливать проблемы взаимоотношения человека и природы [9]. “Наша наука, — подчеркивал В.М. Котляков [16, С. 179–180], — пожалуй, единственная, которая способна синтезировать естественноисторический, экономический и социальный подходы в рамках целостного учения об организации пространства, где протекает жизнь человека во всех ее проявлениях”.

В связи с этим возникла дискуссия о “единой географии”, инициированная проблемной работой В.А. Анучина [2], которая сейчас продолжается с меньшей интенсивностью и в ограниченных масштабах. Целостная концепция единой географии должна объединять природную, экономическую и социальную географии через междисциплинарные сквозные исследования, интеграцию и синтез знаний. Сквозной характер теорий, моделей и методов означает, что они отражают и объясняют свойства

разнокачественных объектов с единых системных позиций, поэтому проявление физикализма в смысле использования идей физики и других наук в географии в соответствующей интерпретации становится естественным. Пример — гравитационные модели в пространственном анализе социально-экономической географии.

Объединяющим началом в географии стал геосистемный подход [28], связывающий прежде всего отраслевые дисциплины в единое учение. Он противостоит тенденции [5] считать геоморфологию, метеорологию, гидрологию негеографическими дисциплинами, а объединяет их, включая частную экологию, экономику и социологию, в систему наук, изучающих динамические проявления в природе и обществе. В социально-экономической географии исследуются территориальные структуры и системы со свойствами саморазвития и самоорганизации в аспекте территориальной организации и комплексности, составляющих суть географического подхода конструктивной направленности на решение практических задач [3]. География стремится достичь своей главной цели — раскрыть простую и в то же время необычайно сложную тайну пространственной организации мира [26].

Всесторонний учет факторов и условий географического положения выступает важной особенностью географического мышления и географической культуры общества. В работах по теории географии А.А. Григорьев [7] утверждал, что предметом географии является географическая среда жизни общества — объединяющее начало для физической и экономической географии. Отражением такой позиции служат концепции географического детерминизма, признающие за географической средой решающую роль в развитии общества и общественного производства. По мнению В.А. Анучина, “географическая среда представляет собой сложное сочетание как природных, так и общественных условий, исторически сложившихся и продолжающихся развиваться на земной поверхности” [2, с. 127]. Можно согласиться с мнением этого же автора [2, с. 135], что географическая среда — специфический и общий объект изучения географии, основание для объединения всех географических наук. По определению, принятому в Национальном географическом обществе США, география занимается изучением местоположений и взаимоотношений между людьми и окружающей средой, чтобы понять индивидуальные особенности пространственного распределения объектов, их территориальных взаимосвязей и изменений с течением времени [38].

СИСТЕМА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Сущность географии можно осознать только в системе по-особому организованного знания на основе математических процедур расслоения информации. Выделяется несколько научных уровней обобщения информационных баз: инварианты, данные, знания, модели, теории, метатеории, математика (рис. 1). Базы данных включают первичные наблюдения и результаты экспериментов и вторичную информацию — результаты расчетов по моделям.

Среди данных выделяются инварианты — количественные и качественные величины, сохраняющиеся в системах отсчета разного рода, например, константы скорости света или золотого сечения, энергия тела или площадь территории. Знания систематизируют понятия и координаты пространства представления данных, которые увязываются между собой в модели, что создаются по правилам системных теорий и конкретизируются на метатеоретическом уровне описания взаимодействия “объект-среда” математическими методами. Обосновывается гипотеза о том, что география относится к метатеоретическому, субматематическому уровню исследований, использующему методы методологического, математического и статистического (численного) анализа, а также проявляющемуся на всех нижележащих уровнях информационного обеспечения от первичных данных (описаний) до системных теорий [33].

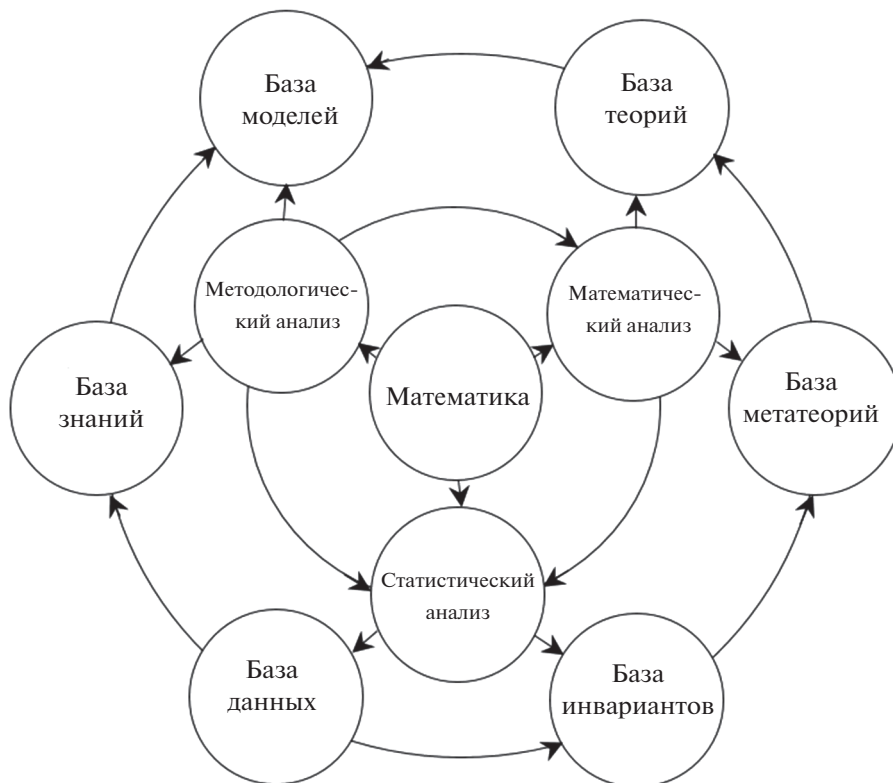


Рис. 1. Концептуальная схема организации связи уровней научной информации вокруг математического знания. Стрелками обозначены процессы передачи и преобразования информации.

Fig. 1. Conceptual scheme of the organization of scientific information levels around mathematical knowledge. The arrows indicate the processes of transmission and transformation of information.

Центром, или точкой отсчета в представленной схеме является математика — абстрактное, формализованное строго логически организованное истинное знание. На рис. 1 показаны связи математического знания с другими уровнями научной информации, опосредованные математическими методами и вычислительными алгоритмами анализа. В этой схеме стрелками отражены процедуры дедуктивного и индуктивного вывода, а также моделирования. Индуктивное восхождение от частного к общему через типологию, идеализацию и формализацию информации состоит в том, что описание более конкретных ситуаций требует все более сложных обобщающих глубоко формализованных и абстрактных математических структур. С другой стороны, не всякое дедуктивно выводимое в математике знание истинно в смысле объективного существования и проявления формализованных связей, и для конкретизации знания по нисходящей линии требуется на каждом уровне вводить определенные ограничения для наполнения научной информации содержанием.

Математика должна радиально пронизывать все информационные уровни и проявляться в формах статистической обработки данных, математических моделей и теорий. Согласно Г. Галилею, “математика — это язык, на котором написана книга природы”. По И. Канту, “в каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики”. Наконец, К.Ф. Гаусс считал, что “математика — царица наук, а теория чисел — царица математики”. Нет ничего необычного в том, что мате-

матика обогащает исследовательскими средствами все существующие науки, как и в том, что географическое мышление естественным образом распространяется на другие области знания [34]. Математическая география — это не математическая теория, а метатеория субматематического уровня, связанная по схеме с математическими моделями и теориями остальных наук. Она относится к классу наук статистического анализа исходной информации, использующей средства математического и методологического анализа. По этой причине целью развития географии становится создание математической географии как метатеоретической науки в единстве с другими эмпирическими прикладными науками метатеоретического плана: такими как история, медицина, техника, педагогика и т. д. Эти науки становятся опосредующими звеньями между абстрактной математикой и предметными теориями чистого знания. Идеи методологического и математического анализа раскрываются в трансцендентальной философии, логике и прикладной математике, базирующихся на процедурах расслоения знаний.

В метатеории исследуются расслоения трех типов: дискретное, дискретно-непрерывное и непрерывное. Расслоением $s = (X, \pi, B)$ называется отображение π пространства X на пространство B : $\pi: X \rightarrow B$. Пространство X называется пространством (множеством, объектом) расслоения, а B — базой расслоения, состоящей из набора элементов b_i этой базы. Обратное отображение $\sigma = \pi^{-1}$ такое, что $\sigma: B \rightarrow X$ сечет пространство X и превращает его в расслоенное пространство $Y = \{Y_j\}$ независимых слоев Y_j . Для любого элемента базы расслоения $B = \{b_j\}$ прообраз $Y_j = \sigma(b_j)$ называется слоем расслоения σ над элементом $b_j \in B$. Тривиальным расслоением называется расслоенное пространство, которое может быть представлено прямым произведением $Y \times B$, т.е. как система слоев Y_j , организуемых на базе элементов B , например, множество Y параллельных линий Y_j на плоскости X , пересекающих одну линию B в разных точках $b_j \in B$. Отображение $Y \times B \rightarrow B$ есть сечение $Y_j = \sigma(b_j)$, что выделяет из множества Y слой Y_j . Всякая система $S = V \times U$ может рассматриваться как своего рода расслоение объектов и явлений по разным основаниям на элементы V и их связи U и представлена в виде графа вершин V и ребер U . Расслоение разбивает множество X на непересекающиеся подмножества Y_j , каждое из которых связано с конкретным элементом базы расслоения b_j , причем считается одновременно $b_j \in Y_j$ и $b_j \in B$. Так, например, получается при картографировании территории X — представления X в виде атласа карт $Y = \{Y_j\}$ разных участков местности по пунктам $B = \{b_j\}$. Другой пример — решение задачи типологического картографирования, разбиения образа территории на тематической карте X на ареалы $Y = \{Y_j\}$ геосистем разного типа $B = \{b_j\}$ или задачи районирования $Y = \{Y_j\}$ страны X с привязкой к административным центрам $B = \{b_j\}$. Здесь территория X , во-первых, подразделяется по разным основаниям $B_k = \{b_{jk}\}$, а во-вторых, дифференциация X может проводиться по различным масштабным уровням, т.е. расслоение становится многократным, образует иерархическую структуру. Элементы базы расслоения формируют пространственную структуру, в частности, по признакам соседства. Все это, в частности, учитывается в моделях теории центральных мест В. Кристаллера.

Важной особенностью расслоенного пространства $Y = \{Y_j\}$ является возможность сравнения слоев $Y_j \leftrightarrow Y_{j_1}$ совмещением (отождествлением) позиций элементов их баз $b_j, b_{j_1} \in B$, что становится, с одной стороны, основанием для сравнительно-географического анализа, например, при сопоставлении зональных типов (норм) геосистем, а с другой, — формирования географических комплексов в форме единиц территориальной организации. Появляется возможность путем преобразования информации переводить сведения об одном объекте в сведения о другом, осуществлять вывод знаний по аналогии, что важно, в частности, для решения задач интерпретационного картографирования, пространственной экстраполяции и прогнозирования.

Слои Y_j расслоенного пространства $Y = \{Y_j\}$ не пересекаются, и поэтому представляют собой систему независимых координат, в которой всякий объект или явление однозначно параметризуется, например, значениями долей площади ареалов разного типа геосистем изучаемого ландшафта. В качестве расслоенного пространства $X = \{X_i\}$ также рассматривается координатное пространство X_i представления данных, в котором каждый объект характеризуется значениями $x = \{x_i\}$ координат $x_i \in X_i$. Координаты X_i соответствуют определенным географическим понятиям и терминам, а значит атрибутам баз данных. Всякая характеристика $x_i(\xi, t)$ привязана к конкретной точке пространства ξ и моменту времени t , поэтому изменение $x_i(\xi, t)$ по местоположению ξ соответствует аналитической карте скалярного поля $x_i(\xi, t)$ в момент времени t , в частности, карте высот рельефа с изолиниями слоения $x_i(\xi, t) \rightarrow h$ по грациям $h = \{h_j\}$ высоты. Так во всякой науке проявляется пространственно-временной аспект сбора и представления данных, а в географии особенно, что задается системой географических координат ξ и времени t .

Математическая модель – это функция $F(x) = F(x, \xi, t)$, связывающая переменные величины $x = \{x_i\}$ с учетом или без учета ξ и t . Существует огромное разнообразие функций связи $F(x)$; содержательно истинными из них являются только некоторые, вытекающие из законов специальных теорий. Теории регламентируют системный вид моделей и форму взаимосвязей, а модели идентифицируются набором переменных, их начальных и граничных значений, характеристиками состояния среды, включая внешнее управление, что позволяет проводить расчеты. В теориях формулы задаются в общем, чистом виде без привязки к конкретным обстоятельствам. В базах знаний выделяются общие понятия о координатах – шкалах измерения переменных величин (данных). Инвариантные константы (нормы) также существуют в чистом виде, не зависят ни от географических координат и времени, ни от состояния окружающей среды, ни от выбранной системы координат показателей (атрибутов). Чистые общие (0) и “нечистые” (1) средообусловленные знания чередуются через одну позицию (см. рис. 1): инварианты (0), пространственные данные (1), предметные знания (0), модели (1), теории (0), метатеории (1), математика (0). Здесь уместно упомянуть критерий географичности Н.Н. Баранского: “что есть везде, в географии не должно быть нигде”, в частности “географа и туриста интересуют местные особенности, а не то, что есть повсюду” [27, с. 59–60]. Этим подчеркивается идиографическая направленность географической науки, исследующей индивидуальную конкретную действительность.

Что из последовательности информационных уровней следует отнести к географии? Поиск инвариантных норм по критерию Н.Н. Баранского явно не относится к этой науке (см. рис. 1). Сбор и анализ пространственных данных – эмпирическая основа географических исследований. По мнению Э.Ю. Петри [5], задача географии – свести материал разных наук в единый свод и применить его к полной характеристике Земли. Ландшафтное описание характеристик компонентов в базе данных ГИС должно проводиться с необходимой полнотой и детальностью, что обеспечивает высокую точность статистического анализа и тематического картографирования территорий.

Следующий информационный уровень – это знания-понятия, которые выступают общими для всех наук, воспринимаются и трактуются разными науками одинаково, поэтому интересуют географию только в процессе работы в общенаучной культурной среде. Особые географические термины (знаки) – названия географических объектов и явлений – это координированные нечисловые данные, в текстовом виде отображающиеся на карте. Концептуальные и математические модели не могут существовать без привязки к начальным, граничным и средовым условиям, поэтому должны быть объектно-ориентированы и географически обусловлены. Специальные теории с помощью базовых понятий и аксиом абстрагируются от частных моделей, создают и исследуют типовые системные модели на все случаи, в связи с чем теоретическое чистое

знание должно быть неинтересно географу. Однако для создания расчетных моделей для той или иной проблемной области географ должен досконально знать законы используемой системной теории, чтобы исключить упомянутое “дилетантское барахтанье” или с пониманием работать со специалистами в этой области.

Вместе с тем для самого теоретического знания требуется реорганизация в соответствии с требованиями методологии полисистемного расслоения знаний [31]. Географ должен рассуждать примерно следующим образом. Всякий сложный объект X может быть представлен как полисистема $Y = \{Y_j\}$, т.е. множество систем Y_j разного рода j . Модели однородных систем объединяются в специальную теорию T_j , в которой объект X описывается в системных характеристиках Y_j этой теории j , например, теории сложных, динамических, функциональных, классификационных или других типов систем. Любая теория дает адекватное описание объекта в своих терминах в части решаемых в рамках данной теории задач. В каждой теории система понимается по-своему как множество специальным образом взаимосвязанных элементов с индивидуальными характеристиками в отдельном понятийно-координатном пространстве $X = \{X_j\}$. Знания об объекте X проецируются в координатную полисистему теорий $T = \{T_j\}$ [31] в виде расслоенного пространства $Y = \{Y_j\}$ знаний об объекте: $Y_j \subset X$, $Y_j \subset Y$, $Y_j \subset T_j$ одновременно. Предполагается плюрализм теорий и соответственно множественность языков системного описания. Идея теоретического расслоения знаний предполагает наличие базы расслоения $X \rightarrow B$, элементом $b_j \in B$ которой является особое понимание объектов как системы j -го рода, выраженное в базовых терминах и аксиомах их связей. База B представляет разное виденье реальности (теоретический ландшафт) как систем различного рода. Науки в современном понимании смешивают знания различных системных теорий, что для совершенства познания требует расслоения накопленных знаний на полисистемной основе.

Всякая теория T_j в соответствии со свойствами любого слоя является сквозной, т.е. описывает с помощью своих системных средств все объекты действительности, представляет специальный предметный срез исследования этих объектов вне зависимости от их качеств. По этой причине идея единства естественного и социального знаний заложена уже на уровне сквозных системных теорий (интертеорий), а проблема единства географических знаний вторичны и решается автоматически, бесспорно. Чистые законы, например, механики или экономики, выводимые из аксиом теории T_j , также имеют сквозные качества, т.е. всюду действуют независимо от условий среды их применения, в силу чего не являются географическими законами.

Возможность сравнения слоев-теорий $T_j \leftrightarrow T_{j1}$ путем сопоставления (интерпретации) их понятийных и аксиоматических баз $b_j, b_{j1} \in B$ позволяет одну из теорий T_0 использовать в качестве типовой $T_0 \leftrightarrow T_j$, что позволяет по образцу T_0 путем интерпретации — замены системных понятий $b_0 \in T_0$ на другие системные понятия b_j — построить новую теорию T_j . Такой образцовой теорией T_0 считается общая теория систем [31], что в содержательном виде соответствует систематической философии в части онтологии и диалектики, раскрывающих наиболее общие понятия (категории) и законы объективного существования. Системы S_k общего вида b_0 сквозным образом отражают действительность и объединяются в универсальную мировую систему (универсум) S , $S_k \subset S$. Аналогично все изменения (различия) ΔS_k являются частью $\Delta S_k \subset \Delta S$ универсального изменения (движения) ΔS . Постулируется, что любые изменения ΔS_k , по разному понимаемые в разных теориях, есть результат какого-то действия (преобразования) D_k (борьбы противоположностей): $\Delta S_k \equiv D_k$. Формулируется три аксиомы диалектики — общей теории систем:

$$S \equiv C, \quad \Delta S \equiv C, \quad \Delta S_k \equiv D_k. \quad (1)$$

Символ C соответствует повсеместному и постоянному существованию — инвариантному качеству системы, что всегда и везде сохраняется. Первые две аксиомы постулируют объективное существование и изменение мира систем как универсальной системы, третья — отражает основной закон диалектики. В силу универсальной общности аксиом (1) они могут в соответствующей интерпретации понятий рассматриваться как законы любого теоретического слоя T_j с указанием инварианта слоя $S \equiv C$ — элемента соответственной базы, границ изменения $\Delta S \equiv C$ — ядра слоя и специальных правил преобразования $\Delta S_k \equiv D_k$ [33].

Типовая теория (1) задает образец $T_0 \leftrightarrow T_j$ теоретического мышления, когда философские категории переименовываются в специальном системном смысле [33], например, в логике (исчислении высказываний): универсальное высказывание обо всем — истинно (истина C существует), всякое новое знание $\Delta S \equiv C$, полученное по строгим логическим правилам преобразования $\Delta S_k \equiv D_k$ — истинно. В терминах теории общественной деятельности устойчивые отношения человека и природы регламентируются требованиями сохранения природы $S \equiv C$ и постоянного экономического роста $\Delta S \equiv C$. Последний системный подход иногда соотносят с метагеографией или геополитикой.

Для географической науки законы диалектики в форме общей теории систем — это первичная исследовательская позиция объективного существования и изменения географической оболочки Земли по разным правилам преобразования. Причем эта заявленная позиция справедлива для любой системной теории и отражается в ее аксиоматике, а значит не относится собственно к географическому знанию. Законы, отображенные в математических символах, исследуются математическими средствами, что позволяет выразить эти законы формально. Понятно, что абстрактные математические формальные системы, не привязанные к содержанию, не являются предметом географии. Схема на рис. 1 отражает структуру слоя знаний с базовым центром b_j , соответствующим самостоятельным разделам математики (алгебре, логике, топологии, теориям множеств, структур, чисел и групп), воспринимаемым на самом абстрактном, метаматематическом уровне. Каждый из разделов организует научное знание по своему усмотрению: например, с геометрических позиций расслоения пространств на многообразиях — метатеоретическому подходу, соответствующему особым предметным интересам географической науки.

МЕТАТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Дискретно-непрерывная форма расслоения создается в терминах дифференциальной геометрии, которая формировалась в рамках собственно математического анализа, приобрела самостоятельное значение и используется в научных целях в виде методов прикладного математического анализа знаний. Рассматривается пространство R^n дифференциальных признаков объектов в системе X независимых координат $X = \{X_i\}$, $I = 1, 2, 3, \dots, n$ (атрибутов), в которой каждая точка $x \in X$ координируется последовательным набором значений координат $x = \{x_i\}$, $x_i \in X_i$, параметризованных $x_i(\xi, t)$ в пространстве ξ и времени t . Связи между переменными $x = \{x_i\}$ задаются непрерывными функциями $F(x)$, представляющими собой поверхности — своеобразный рельеф или ландшафт в пространстве $X = \{X_i\}$.

Расслоение $\pi : X \rightarrow B$ пространства X происходит на базе $F(x_0)$ — множества точек $x_0 = \{x_{0i}\}$ на поверхности $F(x)$. Если множество этих точек дискретно, расслоение является дискретно-непрерывным, т. е. дискретным по $F(x_0)$ и непрерывным по $F(x)$. Так отображается двойственность ландшафтных характеристик, например, в непрерывном изменении растительного покрова и его дискретной дифференциации по ареалам ассоциаций и формаций. Если $F(x_0)$ и $F(x)$ непрерывны одновременно, то расслоение является непрерывным, что широко используется при описании физи-

ческих полей $F(x)$, когда $F(x_0)$ рассматривается в качестве калибровочного поля, учет которого в формулах позволяет свести наблюдаемые зависимости к чистым законам физики поля.

Л.С. Берг [5] предложил считать предметом географии именно ландшафт, понимая под ландшафтом закономерную группировку объектов $x = \{x_i\}$ органического и неорганического мира, изучаемую как пространственную целостность $F(x)$. Ландшафты исследуются разными специалистами – представителями ряда наук, а географы заимствует их материалы, используют полученные данные для познания ландшафтов при помощи собственного хронологического метода [5]. Без глубокого анализа и синтеза накопленных материалов цельная, гармоничная картина естественных ландшафтов не вырисовывается. По Л.С. Бергу [5], природный ландшафт есть область, в которой характер $x = \{x_i\}$ рельефа, климата, растительного и почвенного покрова сливается в единое гармоническое целое $F(x)$, типически повторяющееся $F(x_0)$ на протяжении известной зоны Земли. Декларируемая типичность подразумевает возможность существования ландшафта как базы расслоения $F(x_0)$ – идеализированного образа ландшафта, к которому естественным образом каждый ландшафт эволюционно стремится: $F(x) = F(x_0)$. Обобщенное понимание ландшафта стало характерным для современной науки [30].

Расслоение $\pi : X \rightarrow F(x_0)$ называется касательным (тангенциальным), если каждый слой $Y(x_0)$ является касательной (гипер)плоскостью к поверхности $F(x)$ в точках $F(x_0)$ в пространстве X . Сечение $\sigma : F(x_0) \rightarrow X$ разбивает пространство переменных $X = \{X_i\}$ на множество слоев $Y = \{Y(x_0)\}$. Идея расслоения (дифференциации признаков пространства X) состоит в том, что неизвестная функция $F(x)$ послойно аппроксимируется в широкой окрестности координат точки касания $F(x_0)$, $x_0 = \{x_{0i}\}$. Поверхность $F(x)$ с такими качествами называется многообразием; функция $F(x)$ не является произвольной, а относится к определенному классу функций-законов, реально описывающих природные и социальные явления. Основываясь на этих замечаниях, определяется вид таких функций.

Математически строгое касательное преобразование Лежандра переводит функцию связи исходных переменных $F(x)$, $x = \{x_i\}$ в неизвестную функцию двойственных переменных $F^*(a)$, $a = \{a_i\}$ и обратно $F(x) \leftrightarrow F^*(a)$:

$$F(x) = a \cdot x + F^*(a) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_nx_n + F^*(a), \quad a_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x_i}. \quad (2)$$

Здесь $a = \{a_i\}$ – весовые коэффициенты чувствительности, показывающие, насколько изменится функция $F(x)$ при изменении независимой переменной x_i на единицу при сохранении значений остальных переменных; $a \cdot x$ – скалярное произведение векторов a и x .

Статистически уравнение (2) – это регрессионное соотношение со свободным членом – отрезком, соответствующим величине $F(x) = F(0) = F^*(a)$ в начале координат $x = 0$. При $a = \{a_i\} = 0$ функция $F(x)$ имеет экстремальные значения (минимум или максимум), равный $F(x) = F^*(a)$. Коэффициенты $F^*(a)$ и $a = \{a_i\}$ уравнения (2) рассчитываются по серии данных $F(x)$ и $x = \{x_i\}$ средствами регрессионного анализа, широко применяемого в географии при обработке пространственных данных. Принципы касательного расслоения дают возможность правильно интерпретировать результаты статистической обработки.

Преобразование Лежандра (2) широко используется в разных областях науки, например, в термодинамике, где свободная энергия $F^*(a)$ получается, как преобразование Лежандра внутренней энергии $F(x)$, где $x = \{x_i\}$ – экстенсивные потенциалы (энергия, объем), $a = \{a_i\}$ – интенсивные потенциалы (давление, температура) физической си-

стемы. В экономике $F(x)$ имеет смысл дохода, скалярное произведение $a \cdot x$ — издержек производства, где a , x — цены и количество затраченных ресурсов, $F^*(a)$ — скрытая прибыль, зависящая от изменения уровня цен. Предполагается, что за каждым наблюдаемым явлением $F(x)$ стоит скрытое содержание $F^*(a)$ (сущность), определяющая параметры этого явления с учетом оператора действия факторов $L[F(x)] = a \cdot x$.

Уравнение (2) для каждого слоя $Y(x_0)$ в точке касания $x = x_0$ имеет вид:

$$F(x_0) = a_1 x_{01} + a_2 x_{02} + \dots + a_i x_{0i} + \dots + a_n x_{0n} + F^*(a), \quad (3)$$

откуда

$$F^*(a) = F(x_0) - a_1 x_{01} - a_2 x_{02} - a_i x_{0i} - \dots - a_n x_{0n}. \quad (4)$$

зависит не только от весовых коэффициентов чувствительности $a = \{a_i\}$, но и от параметров инварианта слоя $x_0 = \{x_{0i}\}$, детерминирующих базовые условия среды реализации функции $F(x)$. Из уравнения (4) находится неизвестная функция $F^*(a)$, величина которой подставляется в уравнение (1), и получается $F(x) = a \cdot (x - x_0) + F_0 = a \cdot y + F_0$. Здесь $y = \{y_i\} = \{x_i - x_{0i}\}$ — значения локальных координат в смещенных, относительных переменных:

$$f(y) = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_i y_i + \dots + a_n y_n, \quad a_i = \frac{\partial f(y)}{\partial y_i}, \quad (5)$$

где $f(y) = F(x) - F_0$ — различие текущих и базовых значений функции $F(x)$ в слое инварианта $x_0 = \{x_{0i}\}$. Преобразование Лежандра $f^*(a)$ функции $f(y)$ равно нулю $f^*(a) = 0$, что указывает на универсальность уравнения (4), идентичного в каждом слое, что позволяет сравнивать слои и функционально переходить из слоя в слой. Функция $f(y) = a \cdot x$ выражает всеобщий закон, обеспечивающий универсальность и объективность метатеоретических положений и действий, в которых значение средового контекста жизнедеятельности индивидов снижается до минимума, отчуждается от объекта исследования. При определении конкретных решений $F(x) = f(y) + F_0 = a \cdot y + F_0$ необходимо учитывается средовой контекст F_0 . Это один из основных законов географической метатеории, связывающий идеальную возможность F_0 с материальной реальностью $F(x)$ через законы $f(y) = a \cdot y$ преобразования.

Имея в наличии параметры $F^*(a)$ и $a = \{a_i\}$ нескольких регрессионных уравнений (2), по регрессионному соотношению $F^*(a)$ (4) появляется возможность вычислить значения положения центра слоя $F(x_0)$, $x_0 = \{x_{0i}\}$. Это дает возможность проверить, относится ли имеющееся уравнение (2) к данному слою с параметрами $F(x_0)$, x_0 , что позволяет решать задачи типизации и районирования. В географии многообразие $F(x_0)$ выделяется прямыми или косвенными наблюдениями и сравнениями, например при изучении географических циклов ландшафтов или восстановительно-возрастной динамики растительного покрова, когда промежуточные стадии растительности переходят в эквифинальные (экстремальные $y = 0$, $a = 0$) состояния потенциальной растительности (коренные зональные типы) $F(x_0)$. При косвенном изучении на территории выделяются коренные ландшафтные формы, с которыми связывается серия производных ландшафтов.

Приведенные метатеоретические выкладки являются принципиальными и общими для формул разных теорий, рассматриваемых как различные слои организации научных знаний. Законы теории (1) напрямую следует из соотношений (2)–(4), если действием D_k считать произведение векторов $D(a, y) = a \cdot y$, а изменением — функцию $\Delta S = f(y) = F(x) - F(x_0)$.

Соотношения касательных расслоений внешне напоминает положения трансцендентальной философии И. Канта. На рис. 1 это соответствует позиции методологического анализа уровня метатеории. И. Кант в Кенигсбергском университете препода-

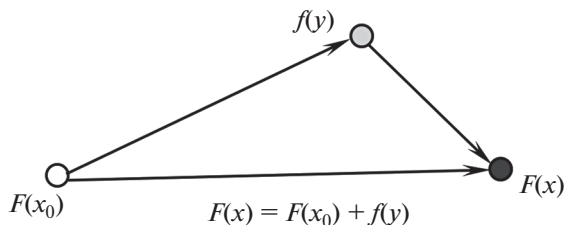


Рис. 2. Схема треугольных коммутативных связей в логике метатеоретического анализа.

Fig. 2. The scheme of triangular commutative connections in the logic of metatheoretical analysis.

вал разные предметы: физику и метафизику, математику и логику, географию и этику. Считают, что через разнобразие дисциплин он достигал свободного интеллектуального видения и приобретал зрелое суждение о научной проблематике в целом. Чтение лекций по физической географии и страноведению, возможно, сыграло для Канта существенную роль в дальнейшем развитии его философских взглядов и убеждений [36]. Для иллюстрации своих мыслей И. Кант использовал географические и математические понятия, хотя в его работах отсутствовали собственно формулы и графические схемы. При исследовании явлений физико-математической ориентации первым предметом его естественнонаучного интереса стала Земля: многообразие и происхождение ее образований и ее положение в космосе [12].

Современная наука в различных областях исследования с вниманием относится к эпистемологическому наследию И. Канта для познания напрямую эмпирически непознаваемых сущностей. Считается [20], что И. Кант создал всеохватывающее систематическое описание архитектурной способности чистого разума формировать системы, которое можно успешно применять и развивать в современных условиях. Большое влияние его работы оказали на становление феноменологии, которая, по мнению Э. Гуссерля [8], могла бы стать инструментарием для систематического пересмотра всех наук. Трансцендентальная аргументация И. Канта превратилась в один из любимых приемов рассуждения и доказательства в аналитической философии [39], выступающей за ясность, точность и логическую строгость мышления.

Трансцендентальный метод занимается поиском общезначимых не эмпирических, а абсолютно априорных предпосылок наблюдаемых явлений и нацелен на выявление лежащих в основании предельных условий их существования, делающих возможным сам феномен. За явлениями, доступными опыту, находится мир предметов “самих по себе”, познать который человек, по И. Канту, не в состоянии [14]. Эти положения формализуются математическим уравнением $F(x) = f(y) + F_0$, разделяющим явление $F(x)$ на сумму априорных условий чистого рассудка $F_0 = F(x_0)$ и чистого разума $f(y)$, т.е. начальных предпосылок (состояния, среды) существования F_0 и законов преобразования $f(y) = a \cdot y$ исследуемой системы $F(x)$ (рис. 2). Необходимым условием познания является введение априорных трансцендентальных понятий, разделительных атрибутов X_i , что соотносится с созданием системы независимых координат $X = \{X_i\}$, координацией явлений $x = \{x_i\}$ и неявным заданием их функции связи $F(x)$ с ее значением $F_0 = F(x_0)$ на входе.

Треугольная схема перевода $F_0 \rightarrow F(x)$ посредством операции преобразования $f(y) = a \cdot y$ (см. рис. 2) выступает базовой для формирования разнообразных моделей в логике, семиотике, трансцендентальной аналитике, семантическом моделировании и когнитивной графике. В ней воспроизводится классическая логическая последовательность вывода — тезис F_0 , антитезис $f(y)$, синтез $F(x)$, — а также многие триадные

соотношения для переработки геоинформации [35]. Ф.Н. Мильков [23] в физической географии использовал правило триады, согласно которому различаются крайние (окраинные, противоположные) позиции F_0 и $F(x)$ и срединная позиция $f(y)$, например, оппозиция низинных и возвышенных местоположений F_0 и $F(x)$ и склонов $f(y) = a \cdot y$, возвышающихся по градиенту высоты a с увеличением отклонения $y = x - x_0$ положения x в рельефе $F(x)$ от равновесного $F(x_0)$ на равнине. По схеме рис. 2 моделируется связь разного понимания ландшафта – индивидуального $F(x)$, типологического $F_0 = F(x_0)$ и общесистемного $f(y) = a \cdot y$. Выделение индивидуальных районов происходит по их внутренней структуре типологических единиц, т.е. по сочетанию в ландшафте долей площади ареалов $a = \{a_i\}$ разных типов $y = \{y_i\}$ местностей, урочищ или фаций. Идентификатор каждого типа y_i – это азональная мера отклонения его частной характеристики x_i от характеристики зонального типа x_0 , общей нормы для всех геосистем выбранного иерархического уровня данной природной зоны $F(x_0)$.

Думается, что декларируемый агностицизм И. Канта был связан с отсутствием в его время адекватных метатеоретических методов познания, а именно, прикладного математического статистического анализа, позволяющего на основе формальных законов и массивов пространственных эмпирических данных выявлять неизвестные параметры и связи математических моделей систем, проводить идентификацию моделей. Такая постановка во многом аналогична задаче дешифрирования скрытых от прямого наблюдения характеристик и закономерностей.

Шифрование имеет отношение к практической задаче соблюдения конфиденциальности передаваемой информации, так и к научному процессу извлечения знаний из наблюдаемых фактов. Исходим из общей схемы $F(x) = f(y) + F_0$, связывающей исходную скрытую информацию F_0 с наблюдаемой известной $F(x)$, полученной с помощью ключа преобразования $f(y)$: $F_0 \rightarrow F(x)$. Научное познание представлено двумя способами дешифрирования: 1) извлечение скрытого знания на основании знания законов (ключа) преобразования $F_0 = F(x) - f(y)$; 2) выявление законов преобразования $f(y) = F(x) - F_0$ путем сравнения входной F_0 и выходной $F(x)$ информации по принципу “черного ящика”. Первый исследовательский подход состоит в идентификации средовых условий, основываясь на знании законов преобразования (моделей) и имеет прямое отношение к предмету географических исследований. Второе направление связано с исключением из наблюдений $F(x)$ влияния среды F_0 и получением чистого знания $f(y)$ через процедуры мета-анализа. Это отражает тот факт, что познаваемая реальность зашифрована, и расшифровать ее возможно только при использовании соответствующих методов, основанных на знании ключей, дешифраторов и входных условий (обстоятельств). Идея естественного шифрования, в терминах философии И. Канта, возможно, состоит в том, что человек, имея в наличии зашифрованные данные о природе и обществе и не обладая ключом, не может ни понять, ни адекватно изменить реальность. В этом смысле исследовательский процесс аналогичен криптоанализу, методики которого позволяют дешифровать скрытые данные и знания с использованием математического анализа накопленной информации, что, например, важно при дешифрировании мультиспектральных растровых космических снимков разного разрешения. Вообще, дешифрирование $F(x) \rightarrow F(x_0)$ – один из ключевых методов современной географии, связанный с извлечением закономерностей из массивов данных: data-mining – совокупность статистических и интеллектуальных методов обнаружения в данных неизвестных, нетривиальных, практически полезных знаний, необходимых для принятия решений.

Первый подход $F_0 = F(x) - f(y)$ ориентирован на извлечение знаний F_0 о среде реализации процесса или явления посредством сравнительно-сопоставительного анализа. Проводятся наблюдения в локальных условиях x_0 с регрессионным расчетом ли-

нейной зависимости вида (2) отклика системы $F(x)$ на воздействие факторов x разных местоположений и ситуаций:

$$F_1(x) = \alpha_1 x + \beta_1, \quad F_2(x) = \alpha_2 x + \beta_2. \quad (6)$$

Здесь для примера рассматривается два случая парной зависимости (6) с коэффициентами α_1, α_2 — значениями $a = \{a_j\}$ и β_1, β_2 — значениями $F^*(a)$ из уравнения (2). Если эти линейные связи описывают однотипную ситуацию $x = x_0$, то они образуют систему, где линии (6) на плоскости пересекаются в одной точке $[F(x_0), x_0]$ касания этой плоскостью неизвестной зависимости $F(x)$:

$$F(x_0) = \alpha_1 x_0 + \beta_1, \quad F(x_0) = \alpha_2 x_0 + \beta_2, \quad x_0 = (\beta_2 - \beta_1) / (\alpha_1 - \alpha_2). \quad (7)$$

Отсюда следует связь коэффициентов вида (4) $\beta(\alpha) = F(x_0) - \alpha x_0$, которая позволяет по серии расчетов коэффициентов α и β статистически восстановить $\beta(\alpha)$. Такая зависимость коэффициентов регрессионных уравнений наблюдается в различных областях науки [13, 37], где удается $F(x)$ привести к линейной форме. Универсальные уравнения в данном варианте при $y = x - x_0, f(y) = F(x) - F(x_0)$ имеют вид $f(y) = \alpha y$, что позволяет преобразовать одну зависимость $f(y) = \alpha_1 y$ в другую $f(y) = \alpha_2 y$ простым изменением значения коэффициента α , т.е. поворотом линий вокруг инвариантной точки $[F(x_0), x_0]$. Это обеспечивает парную аффинную связность и в целом конгруэнтную комплексность изучаемой системы $F(x)$.

Например, в агроландшафтах Курской биосферной станции Института географии РАН исследовались процессы дыхания черноземной пахотной почвы $F(x)$ — эмиссия CO_2 из почвы под разными культурами — и выявлена зависимость вида (2) $F(x) = \alpha x + \beta$ интенсивности эмиссии ($\text{г/м}^2/\text{час}$) от температуры почвы x на глубине 5 см: для подсолнечника $F(x) = 0.013x - 0.112$, для ячменя $F(x) = 0.006x + 0.021$, для картофеля $F(x) = 0.010x - 0.061$ [29, с. 98]. По данным измерений эмиссия CO_2 сильно варьирует в течение вегетационного периода и составляет, например, под ячменем $0.138 \pm 0.068 \text{ г/м}^2/\text{час}$. Зависимость коэффициентов перечисленных регрессионных уравнений $\beta(\alpha) = 0.134 - 19.08\alpha$ ($R = 0.99$) показывает, что линейные связи $F(x)$ пересекаются в точке $(0.134; 19.08)$, характеризующей местную географическую среду по показателям величины эмиссии $F(x_0)$ и температуры почвы x_0 , что не зависят от видовых особенностей культур. В смещенных показателях $y = x - x_0 = x - 19.08$ и $f(y) = F(x) - F(x_0) = F(x) - 0.134$ эта линейная связь однотипна $f(y) = \alpha y$, поэтому поворотом линий (изменением значения α) вокруг центра пучка $(0.134; 19.08)$ одна зависимость переходит в другую, т.е. они аффинно связаны, образуют комплекс-конгруэнцию (пучок) зависимостей. Величина α является основанием для идентификации связей, их упорядочения и оценки. Значение $\alpha = 0$ соответствует оптимуму $F(x) = F(19.08) = 0.134 \text{ г/м}^2/\text{час}$ функционирования системы $F(x)$. Минимум величины $\beta(\alpha) = 0.134 - 19.08\alpha$ указывает на случай наиболее эффективного функционирования, в данном случае наибольшую эмиссию CO_2 , соответствующую культуре подсолнечника, которая показывает наивысшую чувствительность ($\alpha = 0.013$) к изменению температуры. Более интенсивное дыхание почв лесостепной зоны Центрального Черноземья формирует отрицательный баланс гумуса в пахотном слое, поэтому величина β , в общем случае соответствующая функции преобразования Лежандра $F^*(a)$, является оценочным функционалом эффективности процесса по данному типу зависимости $F(x)$; $F^*(a)$ можно статистически оценить по данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Познавательные особенности нашей науки определяются по ее принадлежности к тому или иному уровню представления научной информации с учетом критерия гео-

графичности Н.Н. Баранского — степени уникальности знаний. В иерархии информационных уровней научных исследований (см. рис. 1) география похожа на другие науки, но на метатеоретическом уровне приобретает новое отличное качество изучения конкретных явлений через учет своеобразия географической среды как малой части мировой среды. С использованием методологических схем и методов прикладного математического анализа проводится статистическая обработка пространственно-координированных данных с целью выделения и синтеза знаний об окружающей среде. Географическая среда обычно скрыта от прямого наблюдения и восстанавливается посредством сравнительно-сопоставительного анализа массивов данных в виде моделей пространственных структур, организаций и синтетических карт расслоения территорий на непересекающиеся типологические ареалы и индивидуальные районы. В этом смысле география скрытое содержание потенциала территориальных объектов делает явным. Предметная задача географии — дешифрирование сведений, полученных из различных источников. География изучает объекты не только как системы, но как полисистемы и метасистемы, т.е. разные системы в их взаимодействии со средой.

Географы могут привлекать законы сквозных общезначимых для всех мест и событий системных теорий для решения своих познавательных задач, а также участвовать в их разработке, применяя в качестве образца типовую аксиоматику, дополнительно послойно конкретизируя модели, сформулированные на языке этих теорий. В таком же положении находится трансцендентальная философия по отношению к систематической философии (онтологии, гносеологии, логике), внося ясность в рассуждения последней по поводу системы категорий и всеобщих законов, а также прикладная математика, предлагающая уравнения для теории, а, следовательно, свои объяснения ее состава и структуры, а также логики развития. Теория без ее математического выражения и осмысления — безжизненное образование.

Скрытое знание о многообразии связей понятий и их характеристик представлено знаниями о законах взаимосвязи (чистое знание) и знанием об условиях реализации этих законов — конкретное географическое знание. Географ должен участвовать в общем научно-познавательном процессе, придавая законам средовую обусловленность, превращая их тем самым в местные закономерности. Исторически осуществляется переход от открытия новых далеких и неизведанных земель к познанию с трудом постигаемой мировой среды, которая находится рядом. Пространственность физическая и факторная свойственна системам любой теоретической интерпретации и не определяет специфику географических исследований. На метатеоретическом уровне обобщения география действует наряду с историей, геологией, медициной и другими дисциплинами прикладного направления, поэтому может заимствовать их подходы и предлагать собственные методы для решения сложных проблем. История с географией учат понимать реальность во всей конкретности ее проявления. Науки системно-теоретического уровня в своих исследованиях способны подняться до масштаба географического осмысления и применять все познавательные возможности метатеории, включая методы математического и методологического анализа.

Своеобразие географического знания связано с его междисциплинарным и сквозным характером, пространственным анализом, системным подходом, комплексным изучением, метатеоретическим уровнем конкретных исследований и др. Объяснение с метатеоретической позиции организации научного знания позволяет понять причины возникновения этих фундаментальных качеств. Наличие в географии дублирующего, параллельного направления каждого специального знания других наук объясняется тем, что география добавляет ко всякому сквозному системному знанию свое знание о географической среде, рассматривая всякую систему как метасистему объекта и его среды. Поскольку метасистемное, надсистемное описание соотносится со средовыми условиями (модальностью), география является наукой о средовой относительности знаний, что напрямую проявляется в предлагаемых формулах.

Междисциплинарный характер географии также связан с полисистемным моделированием территориальных объектов, как систем разного рода. География использует и дополняет системные знания других наук, что обуславливает ее собственную системность. В частности, географические комплексы — одна из разновидностей геосистем, в силу чего географические исследования имеют комплексный характер, изучают геокомплексы как системы функциональных связей упорядоченных разнокачественных частей территориального целого (территориальную организацию). Единая география едина по причине единства каждой системной теории, описывающей в единых терминах явления и процессы в природе и обществе. Этим обусловлены сквозные свойства применяемых методов, например, использование динамических моделей для описания градиентных потоков в природе, транспортировки грузов и распространения инноваций.

Многообразие в качестве базы расслоения знаний скрывается за массивом частных фактов и воспринимается как ландшафт особого рода, своеобразный рельеф, скалярное калибровочное поле связи признаков. По этой причине такого рода ландшафты в самом общем понимании, их выявление и количественный анализ становятся собственным предметом исследования географии: география — это наука о ландшафтных многообразиях, полевых структурах, регламентирующих земную реальность. Понятно, почему метод изолиний — формы расслоения (слоения) полей — стал распространенным в географии и картографии. Дискретная и континуальная двойственность ландшафтов связана с особенностями процедур расслоения, которые должны стать основным методом объяснения в географии и математически самовыражаться. Самостоятельно география как фундаментальная наука сможет существовать только на метатеоретическом уровне, применяя методы сравнительных исследований для выявления скрытого ландшафтного знания. Так удастся вписать географию в контекст всей науки, определив ее равноправное положение относительно метатеоретической философской и математической аналитики. Это, в свою очередь, способствует упорядочению и расширению арсеналов методов географических исследований под объединяющим знанием метатеории.

Метатеоретический подход достаточно сложен для первичного понимания, но позволяет учесть и объяснить проявление фундаментальных качеств географии и ввести ее в контекст развития современной науки. В дальнейшем необходимо более детально разобраться в обозначенной ландшафтной специфике предмета географии, отвечая на вопрос — как и почему становится возможна география в структуре по-особому организованного знания, способного объединить все науки не только о Земле, но вероятно, и о Мире в целом.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алаев Э.Б.* Географическое мышление и геопространственная парадигма // Изв. ВГО. 1981. Т. 113, Вып. 5. С. 419–422.
2. *Анучин В.А.* Теоретические проблемы географии. М.: Гос. изд-во географической литературы, 1960. 264 с.
3. *Бакланов П.Я.* Об объекте, предмете и задачах современной социально-экономической географии // Социально-экономическая география: Вестник ассоциации российских географов-обществоведов. 2014. Вып. 3. С. 4–12.
4. *Баранский Н.Н.* Экономическая география. Экономическая картография. М.: Географгиз, 1956. 366 с.
5. *Берг Л.С.* Предмет и задачи географии // Изв. ИРГО. 1915. Т. 51. Вып. 9. С. 463–475.
6. *Геттнер А.* География: ее история, сущность и методы. Л.; М.: Гос. изд-во, 1930. 416 с.
7. *Григорьев А.А.* Закономерности строения и развития географической среды. М.: Мысль, 1966. 382 с.

8. Гуссерль Э. Феноменология. Статья в Британской энциклопедии // Логос. 1991. № 1. С. 12–21.
9. Забелин И.М. Физическая география и наука будущего. М.: Географгиз, 1963. 112 с.
10. Исаченко А.Г. Развитие географических идей. М.: Мысль, 1971. 416 с.
11. Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. 400 с.
12. Кассирер Э. Жизнь и учение Канта. Санкт-Петербург: Центр гуманитарных инициатив, 2013. 448 с.
13. Кофман Г.Б. Уравнения роста и онтогенетическая аллометрия // Математическая биология развития. М.: Наука, 1982. С. 49–55.
14. Круглов А.Н. Трансцендентальное // Новая философская энциклопедия. Электронная библиотека ИФ РАН: <https://iphlib.ru/library/> (дата обращения 12.12.2021).
15. Константинов О.А. К тридцатилетию Отделения экономической географии // Изв. ВГО. 1965. Т. 97, Вып. 2. С. 105–111.
16. Котляков В.М. Наука. Общество. Окружающая среда. М.: Наука, 1997. С. 179–180.
17. Котляков В.М. Избранные сочинения. Кн. 3. География в меняющемся мире. М.: Наука, 2001. 411 с.
18. Котляков В.М. Современность географии // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 6. С. 4–12.
19. Красовская Т.М., Трофимов А.М. Постнеклассическая география в России // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 5–10.
20. Левин М.Р. Универсум науки. Архитектонические идеи науки, отраслей и частей научного знания в философии Канта // Кантовский сборник. 2020. Т. 3. № 2. С. 26–45.
21. Мартынов В.Л. Российская социально-экономическая география: современное состояние, основные проблемы и перспективы развития // Балтийский регион. 2015. № 2 (24). С. 109–126.
22. Мересте У.И., Ныммик С.Я. Современная география: вопросы теории. М.: Мысль, 1984. 296 с.
23. Мильков Ф.Н. Правило триады в физической географии // Землеведение. Т. 15. М.: Изд-во МГУ, 1984. С. 18–25.
24. Михайлов Ю.П. К вопросу о предмете и объекте географии // География и природные ресурсы. 1980. № 1. С. 27–37.
25. Наука и искусство географии: спектр взглядов ученых СССР и США / сост. и ред. В.В. Анненкова, Дж.Д. Демко. М.: Прогресс, 1989. 200 с.
26. Перцик Е.Н. История, теория и методология географии. М.: Юрайт, 2018. 432 с.
27. Родоман Б.Б. Как я пришел к Баранскому // Социально-экономическая география: Вестник АРГО. 2012. Вып. 1. С. 57–63.
28. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
29. Суховеева О.Э. Оценка пространственно-временной изменчивости потоков CO₂ в агроландшафтах европейской территории России на основе имитационного моделирования. Диссертация на соискание степени канд. географ. наук. М., 2018. 209 с.
30. Тютюнник Ю.Г. Философия географии. Киев: Университет Украины, 2011. 204 с.
31. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии. Новосибирск: Наука, 1997. 502 с.
32. Черкашин А.К. География и негеография // Известия Иркутского государственного университета. Серия “Науки о Земле”. 2015. Т. 14. С. 108–127.
33. Черкашин А.К. Теоретическая и метатеоретическая география // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №1 (52). С. 7–21.
34. Черкашин А.К. Геокартографическое мышление в современной науке // Геодезия и картография. 2020. № 7. С. 27–36.
35. Черкашин А.К., Лесных С.И. Геоинформационный мониторинг территории муниципальных районов на ландшафтной основе // Изв. РГО. 2021. Т. 153. № 4. С. 32–46.
36. Штарк В. Физическая география в Кенигсбергском университете: Карл Генрих Раппольт и Иммануил Кант // Кантовский сборник. Межвузовский тематический сборник научных трудов. Калининград: Изд-во Российского гос. ун-та им. И. Канта. 2006. Вып. 26. С. 203–220.
37. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. Reliability theory of aging and longevity // Handbook of the biology of aging. Academic Press. San Diego, CA, USA. 2006. P. 3–42.
38. Geography // National Geographic Society. Resource Library. Encyclopedic Entry: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geography/> (дата обращения 12.01.2022).
39. Hanna R. Kant and the Foundations of Analytic Philosophy. Oxford: Oxford University Press, 2001. 329 p.

Subject of Geographical Research: Metatheoretical Approach

A.K. Cherkashin*

Sochava Institute of geography SB RAS, Irkutsk, Russia

**E-mail: akcherk@irmok.net*

The article discusses the problem of identifying the subject of geographical science, which allows to display the fundamental properties of geographical research: spatiality, systemacity, complexity, constructiveness, interdisciplinarity, uniqueness, environmental conditionality and relativity, concreteness, comparability, internal unity and the through study of different-quality territorial objects as systems of various kinds (polysystems, metageosystems). The problem is solved in a hierarchy of specially organized knowledge by levels of representation and generalization of scientific information: invariant indicators, empirical and calculated data, conceptual knowledge and models, system theories, metatheories and mathematics. Geography can exist independently only at the metatheoretical level on a par with the philosophical, logical and mathematical analysis of information, based on the procedures of stratification (bundle, fibration) on the manifolds of the connection of the characteristics of the Earth's space and the space of data and knowledge into disjoint sets (layers, fibers) of various kinds. In a generalized sense, manifolds as bases of fiber bundle are considered as landscapes of the geographical environment, usually hidden from direct observation. Geography is similar to other sciences, but its methods mainly investigate unique phenomena, which at the metatheoretical level is expressed in the study of specific objects through taking into account the originality of the geographical environment. Mathematical theories, models and methods of implementation of procedures for multilevel stratification of geographical knowledge and their logical interpretation are proposed.

Keywords: information levels, system theories, metatheory, tangent bundles, landscape diversity, mathematical and logical data analysis

REFERENCES

1. Alaev E.B. Geograficheskoe myshlenie i geoprostranstvennaya paradigma // *Izv. VGO*. 1981. T. 113. Vyp. 5. S. 419–422.
2. Anuchin V.A. *Teoreticheskie problemy geografii*. M.: Gos. izd-vo geograficheskoy literatury, 1960. 264 s.
3. Baklanov P.Ya. Ob ob'yekte, predmete i zadachax sovremennoy social'no-ekonomicheskoy geografii // *Social'no-ekonomicheskaya geografiya: Vestnik associacii rossijskix geografov-obshchestvovedov*. 2014. Vy'p. 3. S. 4–12.
4. Baranskij N.N. *Ekonomicheskaya geografiya*. *Ekonomicheskaya kartografiya*. M.: Geografiz, 1956. 366 s.
5. Berg L.S. Predmet i zadachi geografii // *Izv. IRGO*. 1915. T. 51. Vyp. 9. S. 463–475.
6. Gettner A. *Geografiya: ee istoriya, sushhnost' i metody*. L.; M.: Gos. izd-vo, 1930. 416 s.
7. Grigor'ev A.A. Zakonomernosti stroeniya i razvitiya geograficheskoy sredy. M.: My'sl', 1966. 382 s.
8. Gussler' E. Fenomenologiya. Stat'ya v Britanskoy enciklopedii // *Logos*. 1991. № 1. S.12 – 21.
9. Zabelin I.M. *Fizicheskaya geografiya i nauka budushhego*. M.: Geografiz, 1963. 112 s.
10. Isachenko A.G. *Razvitie geograficheskix idej*. M.: Mysl', 1971. 416 s.
11. Isachenko A.G. *Teoriya i metodologiya geograficheskoy nauki*. M.: Akademiya, 2004. 400 s.
12. Kassirer E. *Zhizn' i uchenie Kanta*. Sankt-Peterburg: Centr gumanitarnykh iniciativ, 2013. 448 s.
13. Kofman G.B. Uravneniya rosta i ontogeneticheskaya allometriya // *Matematicheskaya biologiya razvitiya*. M.: Nauka, 1982. S. 49–55.
14. Kruglov A.N. Transcendental'noe // *Novaya filosofskaya enciklopediya*. Elektronnyaya biblioteka IF RAN: <https://iphlib.ru/library/> (data obrashheniya 12.12.2021).
15. Konstantinov O.A. K tridczatiletiju Otdeleniya ekonomicheskoy geografii // *Izv. VGO*. 1965. T. 97. Vyp. 2. S. 105–111.
16. Kotlyakov V.M. *Nauka. Obshchestvo. Okruzhayushhaya sreda*. M.: Nauka, 1997. S.179–180.
17. Kotlyakov V.M. *Izbrannye sochineniya*. Kn. 3. *Geografiya v menyayushhemsya mire*. M.: Nauka, 2001. 411 s.
18. Kotlyakov V.M. *Sovremennost' geografii* // *Vestn. MGU. Ser. 5. Geografiya*. 2011. № 6. S. 4–12.
19. Krasovskaya T.M., Trofimov A.M. *Postneklassicheskaya geografiya v Rossii* // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2013. № 4. S. 5–10.

20. Levin M.R. Universum nauki. Arhitektonicheskie idei nauki, otraslej i chastej nauchnogo znaniya v filosofii Kanta // Kantovskij sbornik. 2020. T. 3. № 2. S. 26–45.
21. Martynov V.L. Rossijskaya social'no-ekonomicheskaya geografiya: sovremennoe sostoyanie, osnovnye problemy i perspektivy razvitiya // Baltijskij region. 2015. № 2 (24). S. 109–126.
22. Mereste U.I., Nymmik S.Ya. Sovremennaya geografiya: voprosy teorii. M.: Mysl', 1984. 296 s.
23. Mil'kov F.N. Pravilo triady v fizicheskoy geografii // Zemlevedenie. T. 15. M.: Izd-vo MGU, 1984. S. 18–25.
24. Mixajlov Yu.P. K voprosu o predmete i ob'ekte geografii // Geografiya i prirodnye resursy. 1980. № 1. S. 27–37.
25. Nauka i iskusstvo geografii: spektr vzglyadov uchenyh SSSR i SShA / sost. i red. V. V. Annenkova, Dzh. D. Demko. M.: Progress, 1989. 200 s.
26. Percik E.N. Istoriya, teoriya i metodologiya geografii. M.: Yurajt, 2018. 432 s.
27. Rodoman B.B. Kak ya prishel k Baranskomu // Social'no-ekonomicheskaya geografiya: Vestnik ARGO. 2012. Vyp. 1. S. 57–63.
28. Sochava V.B. Vvedenie v uchenie o geosistemax. Novosibirsk: Nauka, 1978. 320 s.
29. Suxoveeva O.E. Ocenka prostranstvenno-vremennoj izmenchivosti potokov SO₂ v agrolandshaftax evropejskoj territorii Rossii na osnove imitacionnogo modelirovaniya. Dissertaciya na soiskanie stepeni kand. geograf. nauk. M., 2018. 209 c.
30. Tyutyunnik Yu.G. Filosofiya geografii. Kiev: Universitet Ukrainy, 2011. 204 c.
31. Cherkashin A.K. Polisistemnyj analiz i sintez. Prilozhenie v geografii. Novosibirsk: Nauka, 1997. 502 s.
32. Cherkashin A.K. Geografiya i negeografiya // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o Zemle". 2015. T. 14. S. 108–127.
33. Cherkashin A.K. Teoreticheskaya i metateoreticheskaya geografiya // Geograficheskij vestnik = Geographical bulletin. 2020. №1 (52). S. 7–21.
34. Cherkashin A.K. Geokartograficheskoe myshlenie v sovremennoj nauke // Geodeziya i kartografiya. 2020. № 7. S. 27–36.
35. Cherkashin A.K., Lesnyh S.I. Geoinformacionnyj monitoring territorii municipal'nyh rajonov na landshaftnoj osnove // Izv. RGO. 2021. T. 153. № 4. S. 32–46.
36. Shtark V. Fizicheskaya geografiya v Kyonigsbergskom universitete: Karl Genrix Rappol't i Immanuil Kant // Kantovskij sbornik. Mezhdvuzovskij tematiceskij sbornik nauchnyh trudov. Kaliningrad: Izd-vo Rossijskogo gos. un-ta im. I. Kanta. 2006. Vyp. 26. S. 203–220.
37. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. Reliability theory of aging and longevity // Handbook of the biology of aging. Academic Press. San Diego, CA, USA. 2006. P. 3–42.
38. Geography // National Geographic Society. Resource Library. Encyclopedic Entry: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geography/> (data obrashheniya 12.01.2022).
39. Hanna R. Kant and the Foundations of Analytic Philosophy. Oxford: Oxford University Press, 2001. 329 p.

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГЕОКОМПОНЕНТОВ

© 2022 г. Ю. Г. Тютюнник*

Институт эволюционной экологии НАН Украины, Киев, Украина

**E-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com*

Поступила в редакцию 23.12.2021 г.

После доработки 15.01.2022 г.

Принята к публикации 16.02.2022 г.

Классическое понятие физической географии “геокомпонент” переосмысливается с позиций экзистенциальной топологии (одна из концепций современного постструктурализма). Геокомпонент может быть представлен не только дискурсивно — физическими, физико-химическими моделями, категориями, понятиями, но и чисто топологически с помощью определенных геометрических образов. Такое представление не тривиально и осуществляется с использованием особой линии, именуемой огивой. Она позволяет визуализировать геокомпонент как множественный тип. Гидрокомпонент визуализируется с помощью плавной кривой, атмосфера — чертой, литокомпонент — ломаной с тупыми и острыми углами, техногенные компоненты — прямым углом и окружностью, биота — графом, биосоциальный компонент — почерком, педокомпонент — составной огивой, слагающейся из горизонтального замкнутого контура и вертикального профиля. Совмещение в огиве почвы контура и профиля обеспечивается ее экзистенциальными свойствами — заботой (возделыванием) и даром (урожаем). Составной характер огивы “почва” предваряет физическое и метафизическое представление ландшафта.

Ключевые слова: геокомпонент, топология, метафизика, огива, смесь, забота, дар, экзистенция

DOI: 10.31857/S0869607122020045

ВВЕДЕНИЕ

В отечественном ландшафтоведении наиболее глубокие теоретические рефлексии понятия “геокомпонент” (“компонент ландшафта”, “ландшафтный компонент”) содержатся в работах В.В. Докучаева, Л.С. Берга, Д.Л. Арманды, Н.А. Солнцева, В.С. Преображенского, А.Г. Исаченко, В.Н. Солнцева, Г.Е. Гришанкова, Н.Л. Беруща-швили и др. Однако сегодня наработанных ранее положений, определений, интерпретаций уже недостаточно. Во-первых, развивается наука и соответственно появляется необходимость обновлять, дополнять, переосмысливать ее базовые понятия — это процесс исторический и объективный. Во-вторых, возникают новые объекты и формулируются новые предметы исследования. Но “новыми” их можно часто назвать условно. Они и раньше были, но только их как бы не замечали, или пытались не замечать, пропускали в цепи осмысления и теоретизирования. Такими объектами в учении о геокомпонентах выступают огонь, человек, инженерно-технические объекты, грибы, выделяемые сегодня биологами в отдельное царство. В-третьих, появляются неизвестные или мало известные ранее философско-методологические контексты, в которых можно по-новому рассматривать понятие ландшафтного компонента.

Опыт углубления и переосмысления понятия геокомпонента излагается в настоящей статье. При этом, “переосмысление” понимается автором не как “преодоление”, когда классические представления как бы “перешагиваются”, отодвигаются на задний план, а как предложение некоего нового угла зрения, подхода, дающее возможность посмотреть на хорошо известный объект и предмет исследования по-иному, в необычных концептуально-методических координатах. Классические трактовки при этом бережно сохраняются.

Мы попытаемся переосмыслить понятие геокомпонента с позиций *экзистенциальной топологии*, основы которой применительно к ландшафтной географии были заложены в работе [15]. Бытующие сегодня представления, определения, трактовки геокомпонентов являются преимущественно физическими и физико-химическими. Они опираются на такие онтологически более глубокие категории, как “тело”, “субстанция”, “жизнь”, “агрегатное состояние”, “термодинамическое равновесие”, “мобильность” и “неподвижность”. Наш подход будет начинаться там, где физика мыслится в неразрывной связи с геометрией: именно в неразрывной. Иными словами, геометрию и топологию¹ какого-либо физического явления и факта невозможно рассмотреть отдельно от его онтологии (“вещественности”, “энергетичности”, “процессуальности” и т.д.). Геометрическими представлениями в неразрывной связи с вещественно-энергетическим “фьюзисом” (др. — греч. φύσις) мыслили ещё древние греки. Более того, мы полагаем, что феноменология любого физического факта или события может быть идентифицирована и репрезентирована с помощью “чистой” топологии. Читателю-географу нет нужды доказывать, что топологический подход весьма близок по духу к географическому способу мышления — мышлению местом, территорией и картой.

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Прежде всего, очертим список геокомпонентов. Традиционно их выделяют шесть: горные породы (литоконпонент), атмосферный воздух (атмокомпонент), поверхностные и океанические воды (гидрокомпонент), почвы (педоконпонент), растения (фитоконпонент), животные (зооконпонент). Зоо- и фитоконпонент часто объединяют в биоконпонент, или биоту. Есть также ряд проблемных объектов, с которыми пока не до конца понятно как следует поступить. Это огонь (вещество в состоянии холодной плазмы), снег и лёд, подземные воды, а также грибы, выделяемые сегодня биологами в самостоятельное царство, т.е. не “фито-” и не “зоо-”, но очевидно, что “био-”. Опрелённую проблему представляет также человек с его домами, машинами и артефактами. Одни исследователи включают их в список геокомпонентов, другие, которых большинство, возражают против этого. В данной статье эти объекты рассматриваются как геокомпоненты — биосоциальный (человек) и техногенные (дома, машины, артефакты). Дискуссия на предмет того, насколько это методологически правомерно, в задачи статьи не входит.

Второй шаг: рассмотрим геокомпоненты как *множества*. Во-первых, каждый из геокомпонентов состоит из элементов², и это — уже основания для применения теоре-

¹ В этой работе мы не станем резко различать топологию и геометрию, хотя различия между ними, особенно с математической точки зрения, конечно же, есть. Под геометрией мы будем понимать репрезентацию топологии с помощью контуров, фигур и линий. Геометричность не единственный способ репрезентации топологии. Ее можно представлять также с помощью “игр” светотени или континуальной динамики цвета. Это, однако, для науки (в т.ч. географии) эпистемологически и операционально более сложные, во многом ещё неразработанные методики. Здесь мы их рассматривать не будем. Подчеркнем только, что любые способы репрезентации топологии могут быть объединены категорией *физиономичности*, а в более сложном варианте — *лицевости*.

² Теория элементов ландшафта разработана хуже, чем теория геокомпонентов. Одно из определений, данное немецким географом Э. Неефом, гласит: “Элементом” мы называем тот отдельный материальный объект, который изолирован, измерим и даже неделим без того, чтобы анализ не вышел за пределы области географического знания, то есть не свелся к выявлению мелких деталей строения, которые исследуются уже другими науками” [10, с. 18].

тико-множественного подхода к категории “геокомпонент”. Во-вторых, “между” тем или иным геокомпонентом, как “глобальной” совокупностью, и слагающими эту совокупность “наименьшими неделимыми” — элементами, различается масса парциальных группировок, объединяемых “внутри” геокомпонента по самым разным признакам: это подмножества множества “геокомпонент”. В-третьих, совокупность парциальных подмножеств, именуемая геокомпонентом, имеет все признаки *типа* (“термодинамического типа”). Типологический подход органичен теоретико-множественному. А.Ф. Лосев писал: “Термин “тип” математики ввели в теорию множеств не даром. Правда, обычно употребление этого слова формально-логично. Когда говорят “два типа карандашей” или “два типа построек” и проч., то “тип” равносителен термину “вид” или “род”. В теории множеств, однако, этот термин приобретает совсем другое содержание, возвращающее нас [...] к греческому языку. “Тип” — от греческого глагола τύπτω — “бью”, “выбиваю”; “тип” — то, что выбито, высечено, — например, барельеф” [8, с. 230]. Как видим, Лосев указывает на физиономичность и лицевость типа, и это для предмета нашего изложения принципиально. С одной стороны, они конституируют тип, то есть формируют механизм, с помощью которого тип можно увидеть (вообще “уловить”), с другой, — запускают этот механизм в “работу” по некоторым правилам (методикам). Конституирование и репрезентация — это почти одно и то же, одно буквально сразу же следует за другим, но “почти” в данном случае важно. Конституирование — акт более онтологический, репрезентация — преимущественно эпистемологический и методический: в научной практике мы чаще имеем дело с ней.

Если элементами совокупности “геокомпонент” считать подмножества элементов, то эта совокупность приобретает признаки того, что в теории множеств называется *классом* [7]. Понятия “класс” и “тип” родственны. Первое также можно интерпретировать топологически, как “выбитость” или “барельефность”. Такой подход дает нам возможность провести, если так можно выразиться, теоретико-множественное различие между физиономичностью и лицевостью, понятиями близкими и генетически связанными, но не тождественными. С помощью физиономичности, категории более простой и привычной, репрезентируются парциальные подмножества класса “геокомпонент”. Именно по ним мы чаще всего тривиально и “узнаем” то, что называем окружающей средой. С помощью лицевости, которая онтологически более сложна и обладает свойствами *машины*, осуществляется конституирование и репрезентация совокупности “геокомпонент” в целом, а далее — класса, состоящего из геокомпонентов и называемого *ландшафтом*.

В данной статье — это шаг третий — мы ограничимся топологическим представлением типологической совокупности “геокомпонент”. Наша задача будет заключаться в том, чтобы эту совокупность, понимаемую как множественный тип, визуализировать с помощью тех или иных геометрических “ухищрений”, выявить имманентные ей “барельефность” и “выбитость”. В таком мероприятии для нас очень важной будет идея Ж. Делёза о том, что “физике поверхностей с необходимостью соответствует метафизическая поверхность” [4, с. 156]. Важной эта идея представляется нам по двум причинам. Во-первых, для того чтобы репрезентировать лосевский барельеф-тип, нужна поверхность, и не просто поверхность, а поверхность как “союз” физики (массы) и метафизики (поверхности, “заключенной” в массе). Ничем иным, кроме как поверхностью, барельеф-тип ни конституировать ни репрезентировать невозможно. Вспомним максиму О. Родена: “Я беру глыбу мрамора и отсекаю от нее все лишнее”: речь идет об “освобождении” поверхности, “заточенной” в глыбе. Во-вторых, когерентность, если не имманентность, физической и метафизической поверхностей друг другу (что предполагается своеобразной онтологией Делёза) предоставляет нам эпистемологическую возможность не разделять массу и форму, вещество и геометрию, материю и символ, смысл и метафору, а рассматривать их как смесь, причем, методи-

чески корректно. Понятие смеси играет важную роль при конституировании геокомпонента “почва” (см. ниже).

Визуализировать — о-формлять — множественные типы, или классы, именуемые геокомпонентами, будем с помощью рисунка (графики), создаваемого специальной линией — *огивой*. “Огива” — архитектурный, гляциологический и математический термин. Используют его также в философии постструктурализма. В архитектуре им обозначаются особые линии перегибов стрельчатых окон, характерные для сооружений в стиле “готика”. Здесь важно указание на то, что огива репрезентирует определенный тип — стиль архитектурной формы (готику). В гляциологии и геоморфологии термином “огива” обозначаются линии, образующиеся на поверхности ледника из-за его внутреннего таяния, качественной дифференциации слоев льда, насыщения мореной и пластических деформаций в процессе медленного течения-сползания. Здесь огива визуализирует топологические феномены, порождаемые движением (ледника). Причины рождения графики, изображаемой гляциологической огивой, разные, но они во всех случаях: а) являются внутренними для ледника; б) обусловлены его динамикой. Это тоже принципиально. Ж. Делёз в своей, уже философской, интерпретации огивы ещё более усиливает динамический момент, вкладывая в понятие огивы тот смысл, что она “выражает собой форму движущегося тела, чья конфигурация сливается с линиями течения жидкости” [5, с. 29].

Необходимо подчеркнуть, что “динамический момент” в понятии огивы — не только топологическая “абстракция” (хотя и это важно), и не только “объективное явление”, порождаемое физикой процесса. Это ещё и чисто субъективная физиология, свойственная тому, кто наблюдает, кто чертит, кто улавливает и идентифицирует огиву, — человеку. Известно, что здоровый человеческий взгляд имманентно динамичный, пульсирующий. Мы не просто смотрим на окружающую предметность, мы смотрим на нее микроскопически, но непрерывно, меняя направление взгляда, сканируем и пробегаем им предметы. Это дребезжание взгляда в офтальмологии называется *саккадами*. Если надолго или периодически лишать человека физиологической возможности сканировать пульсирующим зрачком “окружающую среду”, то возникают физиологические расстройства и болезни типа углопного нистагма, клаустрофобии или кабинной лихорадки. Таким образом, огива, как линия пробега взглядом, имеет физиологическую составляющую.

Понятие огивы используется также в математической статистике и теории вероятностей. Здесь это некая интегральная кривая, которая на графике вариационного ряда накопленных частот любого признака какой угодно предметности очерчивает распределение этого признака при условии, что накопленные частоты его идентификации откладываются по оси абсцисс (если по оси ординат, то говорят о линии кумуляте).

Что касается философов, то сегодня среди них популярно представление о некоей особой линии, движение вдоль которой или движение которой создает “идеальное тело” [11, с. 222], или по которой интуиция осуществляет “атлетический пробег мысли” [2, с. 52], или которая “бесконечно разрываясь, разделяясь, проходит сквозь множество тел” [9, с. 34]. Обычно (за исключением Делёза) философы не говорят “огива”, но мы привлечем концепцию таких “пробегающих” линий для решения поставленной задачи и присовокупим ее к тем смыслам, которые будем вкладывать в понятие огивы.

Итак, огива — это некая специфическая графика (в простейшем случае линия), которая чертится траекторией очень быстрого прерывистого (“дребезжащего”) пробега взглядом предметности окружающего человека мира или среды. В итоге взгляд или “извлекает” из предметности, или “рисует” на ней фигуру, контур, чертеж, репрезентирующие множественный тип на том уровне обобщения, который в теории множеств именуют классом. Эти идентифицируемые физически фигуры и конфигурации, рисунки и чертежи “передаются” затем воображению, интуиции, в какой-то мере даже

дискурсу, и превращаются ими в образы-репрезентанты (“барельефы”) того или иного множественного типа, именуемого геокомпонентом. Простые огивы достаточно очевидны, сложные — менее очевидны, а составная огива педокомпонента вообще неочевидна и требует немалых метафизических усилий, чтобы быть понятой и включенной в научный метод.

ГЕОКОМПОНЕНТЫ ПРОСТЫХ ОГИВ

Выявление огив и созданных ими график, которые представляют геокомпоненты, будем осуществлять по мере нарастания физической/метафизической сложности операций конституирования и репрезентации. Здесь нам придется отойти от “ряда Солнца” и расположить геокомпоненты в несколько ином порядке.

Гидрокомпонент. Конституирующая и репрезентирующая его огива — *кривая*. Никаких углов нет. Разрывов тоже нет. Иногда на небольших промежутках времени и пространства она может вырождаться в прямую или почти прямую, например, в случае строго линейного движения. Но такие ситуации энергетически и термодинамически неустойчивы и всегда заканчиваются турбулентностями. Последние — “царство” кривых линий. Кривая воды имеет начало, окончание, часто и направление, но она не образует контура. Замкнутые кривые контуров водоемов не специфичны для воды, оконтуриваются и другие ареальные объекты (особенно при обращении к дистанционным методам). Контур, будучи «примененным» к воде, репрезентирует не ее, как таковую, а именно ёмкости (“-ёмы”), в которых она пребывает. Разрывы линий тока и движения воды имеют место в пограничных ситуациях — в процессе взаимодействия гидрокомпонента с горными породами (водопады; волны, разбивающиеся о берег), воздухом (отрыв ветром капель от водной поверхности), техническими объектами (искусственное прерывание потоков) и др. Неспецифическая геометрия таких ситуаций репрезентирует уже не сам геокомпонент, как таковой, а взаимодействие разных геокомпонентов.

Атмокомпонент. Репрезентирующая огива — *черта и штрих* (росчерк, пунктир, пропись). Неординарные феноменологии: дети иногда говорят, что ветер дует от того, что деревья качаются. Причинно-следственная связь в детском воображении нарушается потому, что движения обдуваемых деревьев плавны. Но если буря сломала дерево, то никто, даже самый наивный феноменолог, не скажет, что ветер задул от того, что дерево сломалось. Разрыв, отрыв, обрыв, срыв, порыв — это стихия воздуха. Разрыв в облаках; отрыв листьев от дерева; обрыв проводов; срыв крыши бурей; порыв ветра, обмораживающий кожу; даже дыхание живого организма, состоящее из ритмичных прерываний “вдох — выдох” — все это прямые и косвенные признаки атмосферного воздуха. Как таковой, воздух узнается именно по ним. Спокойный не движущийся воздух узнать трудно. Он дает о себе знать либо изнуряющей влажностью — но это больше связано с парами гидрокомпонента; либо обжигающим теплом Солнца — но это явление космическое; либо ещё чем-то пограничным в своем “атмосферном качестве”, но не атмосферным воздухом, как таковым. А рывок, графически наиболее просто представляемый чертой и штрихом, это наиболее общая и эффективная, хотя чаще косвенная, репрезентация атмокомпонента.

Пограничные графические ситуации для воздуха характерны. Они обуславливаются каплями дождя, градом, снежинками, пылью, атмосферным электричеством, явлениями атмосферной оптики, но самая характерная — облачность. Завислые миниатюрные капли воды вносят свою криволинейную корректировку в графику воздуха и выступают в нем своеобразным “представителем” гидрокомпонента.

В свое известной работе “Метафизика ландшафта” современный российский философ В.А. Подорога на примере способа мышления Ф. Ницше показал метафизическое своеобразие графики атмокомпонента. Он говорит, что Ницше имеет “климати-

зированное тело” [11, с. 182]. Это было связано с сильной зависимостью Ф. Ницше от климата и погоды из-за болезни. Чтобы прописать такое тело³, нужна какая-то особая коммуникативная стратегия, и Подорога находит ее в афористическом письме философа. Если “афористическое мышление рождается из <...> первичных телесно-миметических переживаний природных стихий” [11, с. 267], то такой стихией в случае Ницше выступает именно воздух, так как именно он создает его климатизированное тело. Как афористическое письмо репрезентирует воздух? — Очень просто: есть один афоризм (штрих), есть другой афоризм (штрих), а между ними ничего нет (промежутков между двумя штрихами) [11, с. 263]. Это и есть пунктир. Пунктир, рисующий климатизированное тело Ницше, — своеобразная метафизическая репрезентация воздушной стихии, представленная конкретным историко-философским примером.

Литокомпонент. Репрезентируется огивой *ломаная*. Углы ломаной — преимущественно острые или тупые, прямые — нетипичны (например, на базальтовых столбах или на кристаллах минералов — галита, пирита и др.). Мягкие и плавные формы рельефа, сформировавшегося на осадочных горных породах, а также некоторых минералов (малахит, фосфориты и др.), отражают пограничные ситуации взаимодействия литокомпонента с водой или говорят о прямом рождении из нее представителей минерального царства.

В.Н. Солнцев развивает так называемую гравитационную парадигму ландшафта, согласно которой природа ведущего геокомпонента в “ряду Солнцева” — горных пород определяется силами гравитации [13]. Это и так, и не совсем. Существуют силы и принципиально иной природы, которые определяют и состав и формы/графику горных пород. Более того, не гравитация создает горные породы, а наоборот — массы последних порождают силы гравитации. В ландшафте гравитация проявляет себя как сила, стремящаяся распластовать, прижать к поверхности планеты твердое вещество литокомпонента (и других геокомпонентов). Это распластование и сжатие обеспечиваются как “всухую” (обвалы, осыпи, оползни, отседания и др.), так и с помощью потоков воды, которую силы гравитации заставляют течь и падать. Из-за этого, в общем-то, осадочные горные породы и приобретают криволинейные очертания.

Собственно ломаная — линия спецификации именно литокомпонента, порождается и поддерживается силами воздымания, возникающими в результате конвективного поднятия расплавленной магмы. А сам процесс расплавления магмы определяется ядерными силами. Основной источник тепла, нужного для расплавления магмы и перекристаллизации горных пород в процессе метаморфизма, кроется в ядерных реакциях. Именно ядерные силы в конечном счете ответственны и за конвекцию магмы, и за дрейф литосферных плит, и за субдукцию, и за разломы — в общем, за всю тектонику. Определенную роль играют также силы химических и физико-химических трансформаций, вступающие в “игру” при остывании магмы и метаморфической перекристаллизации горных пород, но, очевидно, роль их менее значима, чем сил тектоники, порожденных в глубинах Земли ядерными реакциями распада нестабильных изотопов K, Th, U и др.

Почему с этими силами мы связываем именно ломаную? Ведь в чистом виде ломаная встречается не всегда, а преимущественно в районах новейшей тектоники. В старых горах, на пенепленах и педиментах, не говоря уже о равнинах, четко выраженная ломаная — скорее исключение, чем правило. Этот факт имеет любопытную метафизическую интерпретацию. Упомянутый выше В.А. Подорога, анализируя способ мышления и стиль письма М. Хайдеггера, приходит к выводу, что они обуславливаются силами тектоники [11, с. 310–313]. “Первым действием в мировой геологической драме, — пишет российский философ, — будет преодоление самозатворенности земли (ее тяжести, сопротивления, инертности) посредством раскола ее жесткой тверди. Но раскол, расчеп

³ Концепт *писать тело* разработан в онтологии Ж.-Л. Нанси [9].

или сдвиг земной тверди (...) не следует рассматривать как просто набор геологических метафор, а как знаки, отмечающие собой пунктирную линию геогенеза (...) высвобождающего силы земли для свободной игры в открытости мира. Оставаясь всегда собой, Земля, тем не менее, получает новое измерение в потоке мировых сил. (...) Она проявляет себя разрывом, который и есть просвет. Силы земли выходят на поверхность не для того, чтобы утратить себя без следа на просторах мировых сил, они — всегда на пути в разверзнутость, которая соединяет, взаимопронизывает мир и землю” [11, с. 311]. Обратим внимание, что философ говорит о том, что геогенез репрезентируется пунктирной линией. Пунктир, как таковой, у нас уже “занят” атмосферным компонентом. Но не это главное. Тектонический пунктир (если так можно выразиться) — это не пунктир в собственном смысле слова, т. е. состоящий из отрезков и пустот между ними, а отрезки, соединенные своими концами. То есть это ломанная, в чем легко убедиться, наблюдая в природе чисто тектоническую графику. Подорога через пару страниц после рассуждений о тектоническом “разрыве” и “расчепе” уточняет, что речь идет не о “чистом” разрыве (как это имело бы место в случае атмосферного компонента), а о сгибе как разрыве и разрыве как сгибе [11, с. 312] или просто о сгибе-разрыве [11, с. 314]. Подобный образ тектонической графики, как показал Ж. Делёз, восходит к работе Г.В. Лейбница “Протогея” (1693), в которой “наука о материи берет за основу “оригами”, или искусство складывания бумаги” [5, с. 12–13]. Достаточно скомкать лист бумаги, чтобы убедиться, что под воздействием внешних по отношению к листу “тектонических” сил пальцев образуется комок, сложенный по системе ломанных линий. Лист бумаги — это земная кора, а “оригами” — это графика ее спецификации.

Техногенные геокомпоненты. Дома и машины, наверное, самый простой для топологического представления геокомпонент. Мы его поставили четверым после литокомпонента, во-первых, чтобы меньше раздражать читателя, несогласного со статусом “геокомпонент” для домов и машин; во-вторых, потому, что огива техногенных компонентов ландшафта достаточно близка к таковой литокомпонента. Ее тоже можно представить ломаной. Но только такой, у которой все или подавляющее большинство углов — прямые. Мир инженерных и технических объектов, процессов, артефактов репрезентируется *прямыми углами*, а также *окружностями*. И в этом противоречия нет. Окружность всегда можно вписать в квадрат, квадратом всегда можно обвести окружность. В технике круги и окружности сочетаются с прямыми углами (спицы колес, зубцы шестеренок, шатуны, валы, шпинделя и др.), и это, скорее правило, чем исключение. А детали машин и конструкций, выполненные в прямоугольных (и во всех остальных) очертаниях, в большинстве случаев перфорируются круглыми отверстиями. “Дружбу” прямого угла с окружностью укрепляет математика, которая утверждает, что любой круг можно разрезать на конечное количество частей так, чтобы потом можно было бы собрать из них квадрат такой же площади (так называемая квадратура круга Тарского). Таким образом, образ огивы техногенных компонентов двукратно и это шаг к ее качественному усложнению (что далее для нас станет особо важно).

Криволинейная составляющая инженерно-технической огивы, которая начинается от окружности и может заканчиваться замысловатой кардиоидой или спиралью, в определенных пределах способна “вырываться на творческий простор” и до неузнаваемости трансформировать графику техногенного компонента. Так происходит в архитектуре. Типичный пример — архитектурный декор сооружений в стиле барокко. Менее типичный, но более эффектный — архитектурные шедевры, выполненные в стиле “сецессия” эпохи модерна. Самые впечатляющие — творения А. Гауди, в которых замысловато искривлены не только элементы декора, но и несущие конструкции сооружений. Однако даже такие криволинейные архитектурные шедевры свидетельствуют не столько об ущербе прямого угла, как графические репрезентанты техногенного геокомпонента, сколько о его устойчивости и незаменимости в этой роли. Во-первых, прямой угол из строительной механики даже в самых “кривых” сооруже-

ниях никуда не девается, он только маскируется декором, композицией. Архитектурная тектоника на прямой угол так или иначе “опирается”. Во-вторых, архитектура — это уже не чистая техника и строительная механика, не только инженерное дело и математический расчет: это ещё и искусство. А значит, когда мы встречаем в сооружении линию, не являющуюся ни прямым углом, ни окружностью, мы просто сталкиваемся с пограничной ситуацией: со смешением инженерно-технической графики с графикой иного рода — той, которая конституирует и репрезентирует того, кто воплощает в архитектурном сооружении акт искусства, то есть человека.

ГЕОКОМПОНЕНТЫ СЛОЖНЫХ ОГИВ

Биокомпонент (растения, животные, грибы). Дерево как первичную “стихию”, то есть как компонент ландшафта, выделяли еще древние китайцы [6]. В готовом графическом исполнении его огива не очень сложна: это *дендрит*. Но генезис ее непрост. Наглядно его хорошо показал выдающийся русский художник-авангардист П.Н. Филонов. Творческий поиск и рассуждения мастера в области “графики живого”, реконструированные искусствоведом К.В. Сергеевым [12], примерно таковы. Жизнь отражается и выражается в онтогенезе и метаморфозе организма. Последние у Филонова становятся непосредственным сюжетом изображения — сюжетом, который формирует особое “биологическое пространство”. Художник мог рисовать живое (преимущественно) и неживое (реже), или вообще что-то беспредметное (что характерно для авангарда), но задача создания изображения именно в биологическом пространстве ставилась им независимо от того, что именно изображалось. Для этого использовался особый прием, который К.В. Сергеев описывает так: “Живописное пространство организовано (...) совокупностью единичных объектов, но в то же время столь тщательно сделанных, выписанных, что каждый из них воспринимается как многоуровневая структура, объединенная тем, что можно назвать “графическим сюжетом”. (...) Проявляется эффект мультиплицирования — все живописное пространство оказывается заполненным единичными предметами, как бы умножающими себя” [12, с. 113]. Если воспользоваться языком математики, то каждое полотно, каждый рисунок художника, который создавался с целью изобразить жизнь как таковую, это не что иное, как *граф*. В математической теории графов говорится, что к любому из них можно добавлять и добавлять ребра и вершины без конца. Филонов так и поступает, трансформируя онтологически сложную и математически довольно запутанную процедуру в художественный акт. Живой организм растет — неважно, куда и из чего, главное — растет, трансформируется, мультиплицируется. Изображая онтогенез с помощью “графа скрупулезности”, живописцу удается визуализировать саму жизнь.

Дендриты — одна из разновидностей графов. Древнегреческое слово δένδρον — “дерево”. Огивой “дендрит” описывается большинство объектов растительного мира, реже — животного (кораллы, например). Дендриты встречаются и за пределами миров живого, например среди минералов (всем известны морозные узоры на окнах). В этом случае они также повторяют филоновскую “механику” скрупулезного изображения: капля за каплей, кристаллик за кристалликом, скрупулус за скрупулусом (“скрупулус” — маленький камешек в сандалии римского легионера; первоначальный смысл причастия “скрупулезно” — тщательный осмотр и очистка обуви). Но теперь это механика чисто физических процессов. Схожесть ее представления с графикой процессов онтогенеза говорит о том, что ни физической, ни метафизической, ни топологической пропасти между живым и неживым нет. Снова мы сталкиваемся с пограничной ситуацией взаимодействия разных геокомпонентных миров.

Среди животных конфигурации графов сложнее и разнообразнее. Отличны они также и в мире грибов. Животное графически это то, что имеет части тела и конечности, реснички, жгутики, щупальца, шерстинки, волоски, коготки, рога и рожки, хво-

сты и клювы, хоботы и хоботки, даже корешки (у амёб) и т.п. Все это растёт или выпячивается на теле или как тело, даже если таковым является всего лишь клетка. Совершенно гладкие животные, например, среди червей, — в явном меньшинстве, и их геокомпонентное существование (например, нематод в почве) носит, опять-таки, пограничный характер. Что касается грибов, то их основное геометрическое достоинство — грибница-мицелий — сегодня удостоилось даже того, чтобы стать характеристическим признаком философского понятия *ризомы* и прочно войти в модный постструктуралистский сленг.

Оги́ва биологического мира сложна: в общем случае она не может быть обозначена единичной прорисью. Уже атмосферный пунктир обладал этим свойством, но его проведение не требовало остановок и изменений направления прориси. Рисовка же графа в общем случае без прерываний движения, смен направлений и траекторий не обходится. Как готовый образ (у того же Филонова), граф представить целиком и сразу несложно. Но изобразить его целиком и сразу в общем случае невозможно: у Филонова процесс создания графа живого не просто пошаговый, а до мельчайших деталей и образов пошаговый, скрупулезный и тщательный: нарисовать деталь — все равно, что нарисовать все полотно, а все полотно нелегко без деталей-прорисей и деталей-образов. Такова графика биокомпонента.

Биосоциальный компонент. Поскольку биосоциальный компонент все-таки “био-“, то нужно, чтобы оги́ва, его репрезентирующая, имела что-то от графа. Поскольку это “био-“ — человек, необходимо, чтобы “графоподобная” оги́ва выражала его индивидуальность, *Я*, уникальную и неповторимую субъективность. Такую оги́ву назовем *линией письма* (письмом) или *почерком*. Как и все прочие оги́вы, письмо имеет физическую и метафизическую составляющие, но последняя в нем среди прочих типов оги́в представлена наиболее законченно и непосредственно, вплоть до того, что в отдельных случаях теряет физические свойства, становится визуально невидимой. Будучи линией письма, оги́ва биосоциального компонента может полностью порывать с геометрией изображения и формой, трансформируясь в не визуализированные метафору, код, символ.

Любое, хотя бы в малейшей мере осознающее себя *Я* (клинические случаи из психиатрии оставим) обладает почерком. В простейшем и самом распространенном случае — это обычный почерк письма⁴. Криминалистам, использующим графологическую экспертизу, это хорошо известно. Педагогам, наблюдающим, как взрослеет маленькое *Я* и вместе с ним приобретает уникальную форму его почерк, это тоже хорошо знакомо. Способность создавать символы, коды, метафоры, мыслить, чувствовать и жить ими — менее очевидное, но более глубинное (экзистенциальное) свойство высшего примата *Homo sapiens*. Графика и экзистенция способны продуктивно взаимодействовать. В просторечии нашу экзистенцию мы часто обозначаем терминами с пространственным и графическим смыслом. Мы говорим “линия поведения”, “черта характера”, “жизненная траектория”, “тупиковая ситуация”, “направление мысли”, “путанная речь”, “скрытые мотивы” и т.д. Криминалисты говорят о “почерке” в злых делах закоренелых преступников и, изучая этот почерк, ловят их. В банальном смысле мы говорим о “стиле жизни”, а в нетривиальном — о “стиле мышления” или “творчества” отдельного ученого, философа, художника и целой исторической эпохи. Все это — либо непосредственная, хотя и невидимая, репрезентация, либо опосредованные, а значит еще менее видимые, следы репрезентации отдельного *Я*, групп *Я* (“слоев общества”) и субъективности как таковой. В патологических случаях (слепота, глухота), оптическая

⁴ Так называемые информационные технологии создают условия, когда человек больше печатает, чем пишет, и смотрит на окружающий мир в плоскости стандартизированных — деиндивидуализированных клише. Это ведет к нивелированию почерка и индивидуальности. Проблема существования личности в цифровой среде — одна из самых животрепещущих гуманитарных проблем современности, особенно в свете набирающего популярности трансгуманизма.

и символическая графика самовыражения и самоидентификации *Я*, и их групп может полностью переходить в область акустических и тактических способов репрезентации.

Очень важной особенностью огивы *Я* выступает ее плотная обратная связь с субъектом. Если во всех предыдущих случаях мы могли говорить о том, что огива генерируется субъектом (в частности, связана с саккадами нашего зрения), пробегает “объективную реальность” по некоторым множественным типам предметности, в общем и целом противопоставленной “внешнему наблюдателю”, то в случае письма и почерка это однозначно утверждать уже нельзя. Любое конкретное *Я* и субъективность как таковая не просто “входят” в ландшафт на правах геокомпонента, но сами топологически и метафизически порождаются ландшафтом. Как это происходит — подробно описано в [14]. Здесь же акцентируем внимание на двух моментах. Во-первых, генетическая связь *Я* с ландшафтом и ландшафта с поверхностью смысла позволяют конкретизировать понятие экзистенциальной топологии. Она (связь) свидетельствует, что речь идет не просто о топологии, графике или играх светотени, которые “мы” наблюдаем со стороны, а о такой топологии со всей суммой ее репрезентаций, которая “нас” же и порождает. Это и есть экзистенциальная топология. Во-вторых, графика репрезентации экзистенциальной топологии становится возможной благодаря особенной геометрии, которая порождается: а) кривизной поверхности смысла, конституируемой и очерчиваемой *горизонтом* (в том числе, а может, и в первую очередь, феноменологическим); б) эластичностью поверхности смысла (ландшафта), благодаря которой она может вытянуться в конус (“мир как конус” [5]) и тем самым топологически с-формировать уникальное место для *Я*: на вершине этого конуса. Мы назвали такое место *точкой Гомейера* [15]. Одно *Я* от другого *Я* отличается, как минимум, *малым шевелением* сей точки. Понятие малого шевеления — из теории катастроф, им обозначают кардинальную (“катастрофическую”) перестройку математического образа при проектировании кривой поверхности на плоскость (и в более сложных случаях). Топологически одно *Я* от другого *Я* отличается такой катастрофической перестройкой линии письма, возникающей при малом шевелении точки Гомейера, которая влечет наименьшую, но качественную трансформацию этой линии около горизонта, обеспечивая тем самым минимальное геометрическое отличие одного *Я* от другого. Разумеется, шевеление может быть и немалым, отличие почерков смежных *Я*, а тем более друг от друга удаленных, может быть резким, очевидным и даже грубым, но это уже случаи топологически тривиальные. Для того чтобы осуществить процедуру малозаметного, но “катастрофического”, графического перехода от одного *Я* к другому, на него очень похожему, необходимо именно малое шевеление.

СОСТАВНАЯ ОГИВА ПОЧВЫ: ПРЕДВАРЕНИЕ ЛАНДШАФТА

Педокомпонент. В списке геокомпонентов мы поставили почву последней из-за наивысшей сложности, неочевидности, неоднозначности ее конституирования и репрезентации огивой, а также по причине ее наибольшей генетической, физической и метафизической близости по отношению к тому объекту, компонентом которого она является, — по отношению к ландшафту (что само по себе также усложняет понимание почвы как геокомпонента).

Метафизически почва отождествляется с землей и репрезентируется графикой особа рода складок, рождающихся при вспашке [5, с. 211]. Физически и геометрически вспашка сопровождается углублением в “темноту” почвы и выносом на дневную поверхность того, что было под поверхностью сокрыто. Углубление в почву, делание видимым невидимого имеет важные практические земледельческие и эвристические почвоведческие следствия. В случае земледелия, формируется *замкнутый контур* возделываемого участка — нивы, огорода, сада, поля, плантации и т. п. В случае почвоведения, вскрывается вертикальный почвенный разрез. Он дает возможность иденти-

фицировать почвенное тело. За операцией “вскрыть почвенный разрез” (без которой нет почвоведения), следуют наблюдение, анализ, исследование, апробация тех особых комбинаций, которые образуются залегающими друг над другом генетическими почвенными горизонтами. На стенке почвенного разреза вырисовывается своеобразная, похожая на геологическую стратиграфическую колонку, *полосчатость*, которую мы называем *почвенным профилем*. Объединяя горизонтальную контурную (“земледельческую”) идентификацию почвы с вертикальной полосчатой, мы получаем *составную огиву*, с помощью которой можно конституировать и репрезентировать педокомпонент. Графически представить себе такое объединение непросто. Что-то похожее имело место для огивы техногенных компонентов, но там речь шла о квадратуре круга, которая суть более математическая абстракция, нежели физическая реальность. Задача “сделать из круга квадрат” решается — как в инженерно-конструкторской практике (например, обжимом), так и в метафизике (квадратура круга по Тарскому). А вот графическое соединение взаимно перпендикулярных почвенного контура и почвенного же профиля пока полностью удовлетворительного решения не получило⁵.

Тем не менее, косвенно такое объединение представить возможно, и замеченной эта возможность была давно. Почвенный покров, очерченный контуром, протыкается ростками, на которых созревают плоды. Древние китайцы в этом простом факте увидели глубокий смысл и выделили почву в отдельную изначальную “стихию” или «первоначало» (у древних греков они назывались элементами). Философ Сыма Цянь, разрабатывая учение о пяти изначальных “стихиях”, говорил так: “Пять стихий: первая называется вода, вторая — огонь, третья — дерево, четвертая — металл, пятая — земля. (...) Земля принимает посев и дает урожай” (цит. по [6, с. 31]). Земля выделяется на том основании, что она дает урожай! Урожай — это дар. Дар “доставляется” к человеку ростком, протыкающим покров. Этот покров называется землей. Но землей не той, по которой ходят, а той, которая одаривает, то есть по-современному — почвой. Такова нехитрая, но очень элегантная, диалектика древних китайцев. Древние греки до такого не додумались. Не отдать ли на этом основании приоритет в зарождении науки почвоведения древним китайцам? Во всяком случае, спустя тысячелетия, идея вертикальной составляющей огивы “почва”, о которой давние мудрецы Поднебесной догадались, глядя на ростки, протыкающие “землю”, была трансформирована выдающимся натуралистом В.В. Докучаевым в идею почвенного профиля, хранящего в себе генезис “стихии” по имени “почва”.

Итак, огива, с помощью которой можно конституировать и репрезентировать педокомпонент: а) является составной; б) состоит из горизонтального *контура* и вертикального *профиля*. Ее идентификация сложна, чаще всего неочевидна и, как правило, нетривиальна.

Забота и смесь. Нетривиальность конституирования и репрезентации почвы, как геокомпонента, объясняется рядом физических и метафизических причин. Наиболее важными, по нашему мнению, следующие.

В смысловом поле геокомпонента “почва” очень силен экзистенциальный момент, обусловленный ее имманентностью дару. Дар дается земледельцу, и он, будучи одаренным, интуитивно улавливает “дух” почвы, видит в ней первоначало-стихию. В широком смысле, земледелие — извечная *забота* человека (в том числе в форме луговодства для скотоводов: скот тоже связан с дарами почвы — с травами). Забота о земле остается основой жизни человека при любых условиях, и вряд ли эту заботу снивелируют даже грядущие технические “чудеса” трансгуманизма (разве что путем коренной дегуманизации самого человека).

⁵ Как на попытки соединения вертикальной и горизонтальной составляющих огивы почвы, можно указать на теорию *педонов* и на контурное земледелие. Последнее — чисто практический (технический) способ такого объединения. Но, хотя о нем и говорят много, в растениеводческой практике контурное земледелие остается пока более благим пожеланием, нежели агротехнической реальностью.

Ведя речь о заботе, мы, вслед за М. Хайдеггером, говорим о бытии-в-мире (и наоборот). Этот важнейший посыл своей философии немецкий мыслитель иллюстрирует анализом одной римской басни, в которой Забота, Юпитер и Земля спорят о том, кому из них должно принадлежать и как должно называться существо, которое Забота случайно вылепила из земли, но дух в которое вселил Юпитер. Пригласив в качестве третьей стороны Сатурна, они разрешили спор так. Поскольку Забота существо слепила, то пусть она им и владеет; но поскольку существо было слеплено из земли — *humus*’а, то имя ему пусть будет *homo* [16, с. 197–198]. У этих слов один корень. Человек, согласно Хайдеггеру, метафизически — посредством имени — связан с гумусом. А физически он зависит от плодородия. Последнее, в свою очередь, зависит от гумуса, который, как источник плодородия, суть предмет извечной заботы существа *homo*, определяющей его экзистенциальную суть. Экзистенциально человек принадлежит почве, он не “на”, не “с” почвой, а “в” ней, и притом живой, а не мертвый. Эту хайдеггеровскую мысль сегодня подхватили некоторые “трансэкологи”, говорящие о человеке то как о “гумане”, то как о “компосте” [17].

Наука почвоведение тоже начинается с того, что человек входит в почву. Этот вход называется вскрытием почвенного разреза, а забота здесь — несколько иного рода, имеет не столько экзистенциальный, сколько гносеологический характер. Это забота о знании и научной истине (понятие старое и уже “заезженное”, но все ещё работающее). Только будучи погруженным в почвенный разрез, исследователь может идентифицировать почвенный профиль, испытать и апробировать его, отобрать образцы и т. д., а теория — это потом. Хотя погружение человека в почву имеет физическое выражение, его результат — научное знание — можно трактовать как результат вполне метафизический.

В почве, как геокомпоненте, метафизическая и экзистенциальная составляющие ее конституирования проявляются особенно сильно, и это важное ее отличие от прочих геокомпонентов. Даже в сравнении с геокомпонентом биосоциальным, в педокомпоненте “больше экзистенции”. Ведь конституирование и репрезентация *Я*, как геокомпонента, в общем случае может предполагать и взгляд со стороны (*Я* как “другой”). Конституирование же почвы, как заботы, не допускает экзистенциального отстранения от нее человека. Человек — не просто антропогенный “фактор” почвообразования, его латинское имя имеет общий корень с именем того почвенного вещества, которое одаривает человека плодами, а значит жизнью.

Другой важнейшей чертой почвы, отличающей ее от прочих геокомпонентов и сильно влияющей на составной характер ее огивы, выступает то, что почва — *смесь*. Как учит нас докучаевское почвоведение, она — некое новое естественноисторическое тело, природный феномен, составленный из минеральных частиц и гумуса, из почвенной влаги и почвенного воздуха, из микробного, животного и растительного населения. Из этого простого, хотя и неочевидного факта, вытекает то, что огива, описывающая и репрезентирующая почву, тоже должна иметь признаки смеси: ее составной характер именно этому требованию и отвечает.

Важно, что «составность» огивы педокомпонента возникает не вдруг и сразу: она формируется постепенно. Начала “составности” можно было видеть уже на примере взаимодействий более простых компонентов ландшафта. В топологическом и геометрическом отношении эти взаимодействия проявляли себя как спутанность, “вмешательство” неспецифической графики геокомпонентов-смежников в специфическую графику главного (конституируемого) геокомпонента. Водяной пар, например, сообщал воздуху плавные линии, а текущие воды превращали в плавные кривые изначальные ломаные линии литокомпонента. Примеры смешения многочисленны: в воздухе, кроме капелек влаги, есть аэробий и бактериальный аэрозоль; в воде, кроме пузырьков воздуха, — терригенные взвеси и фитопланктон; в горных породах — подземные

воды; даже внутри животных есть представители минерального царства — камни в почках...

Феномен сцепления геокомпонентов, их проникновения друг в друга, очень важен для конституирования и почвы и ландшафта. Может быть именно он является физической предпосылкой того, что ландшафт и почва, как естественноисторические феномены, обладают свойством *эмерджентности*. Феномен взаимопроникновения геокомпонентов друг в друга был изучен Н.Л. Беручашвили и привел его к идее *геомассы*. Этим понятием он обозначил некий идеальный геокомпонент, в котором нет примесей иных геокомпонентов. Его идея стала одним из важнейших истоков нового научного направления — *геофизики ландшафта* [3].

Сцепка и взаимодействие компонентов ландшафта, как предпосылка и условие формирования смесей и на уровне почвы и на уровне остальных геокомпонентов, имеет одну важную особенность: они осуществляются преимущественно на масштабных уровнях “микро-” и “милли-”. Из этого факта следует важный вывод: в большинстве случаев указанные взаимодействия или невидимые или плохо видимые, а когда становятся видимыми — порождают целый ряд трудных методологических и методических проблем. Например, такую. Микробное население и даже почвенная мезофауна признаются составной частью почвы [1]. А как быть с макрофауной роющих животных или толстыми корнями растений? Они — составная часть почвы? или почва для них — только среда обитания, дом? где граница размерности, за которой корень или насекомое перестают быть почвенной слагающей и превращаются в жителей дома “почва”?

С подобными “играми” масштабов ландшафтоведам “разбираться” еще долго (интересные соображения на эту тему можно найти в работах В.Н. Солнцева, С.И. Кукурудзы, А.В. Хорошева и др.). Для нас же пока важными будут следующие два вывода. Первый: взаимодействие слагающих частей почвы — минеральных агрегатов, комочков гумуса (все, что осталось от живых организмов), почвенной влаги, почвенного воздуха, микроорганизмов, корней растений и почвенной мезофауны осуществляется в масштабной размерности “микро-” и “милли-”, и именно поэтому почва выступает как компонент ландшафта, который может быть методически и физически (но не экзистенциально!) отстранен от человека, предстать перед ним как внешний предмет. С ландшафтом такого не получается. Человека вне ландшафта нет ни в каком смысле — ни в физическом, ни в метафизическом, ни в экзистенциальном, ни в топологическом, ни даже в методическом (хотя последнее и может показаться парадоксальным). Сцепка геокомпонентов, конституирующих естественноисторическое тело и феномен “ландшафт”, имеет место на всех масштабных уровнях, актуальных в земных условиях, а если расширить понятие ландшафта до “ландшафтности” — то и в космических. За исключением некоторых нюансов (иногда и важных), онтологический механизм “обретения” свойства эмерджентности почвой и ландшафтом — один и тот же. Разница только в тех масштабах, в которых этот механизм действует в том и другом случае. Гениальная мысль о родстве механизмов почвообразования и ландшафтогенеза принадлежит В.В. Докучаеву. Поэтому мы и можем назвать почву *предварением ландшафта*, а Докучаева, как это в истории науки и принято, считать основоположником не только генетического почвоведения, но и одним из основателей науки о ландшафте.

ВЫВОДЫ

Учение о геокомпонентах (компонентах ландшафта) — одно из основополагающих для физической географии и ландшафтоведения. В классических вариантах оно разрабатывалось, в основном, с физических и физико-химических позиций. Однако понятие геокомпонента можно (и нужно) рассматривать и метафизически. Одним из способов метафизического представления геокомпонента служит его конституиро-

вание и репрезентация с помощью особой графики, рисунка, формы, конфигурации. В основе такого представления лежит известное еще со времен Древней Греции понимание того, что геометрия и физика любого тела, явления, процесса неразрывно связаны и не могут быть поняты в отрыве друг от друга. Исходя из этой достаточно простой, хотя и неочевидной, мысли и опираясь на онтологические разработки постструктурализма, представление — конституирование и репрезентацию геокомпонентов, как множественных типов, можно осуществить с помощью специальной “линии пробега” — пробега одновременно воображаемого (метафизического) и реального (физического), который осуществляется взглядом и другими органами чувств по всей совокупности однотипных элементов множественного типа “геокомпонент”. Такую линию можно назвать огивой. Этот термин используется в архитектуре, гляциологии и теории вероятностей. Огива вычерчивает особую — одновременно физическую, метафизическую и экзистенциальную графику, которая множественные типы геокомпонентов конституирует и репрезентирует посредством таких визуализируемых и иным образом идентифицируемых форм: 1) поверхностные и океанические воды — незамкнутыми кривыми; 2) атмосферный воздух — чертой; 3) горные породы — ломаными с острыми и тупыми углами; 4) инженерные сооружения, технические объекты и предметы-артефакты — прямыми углами и окружностями; 5) биоту — растения, животные и грибы — графами (в частности, дендритами и ризомой); 6) человека — письмом и почерком; 7) почву — горизонтальным замкнутым контуром в совокупности с вертикальным профилем. Категория почвы сильнее всего связана с экзистенцией человека, поскольку фундаментальные основания его бытия-в-мире — забота (о возделывании почвы) и дар (урожай) являются именно теми онтологическими моментами, которые объединяют горизонтальный контур и вертикальный профиль в единую составную огиву, с помощью которой почва топологически и представляется. Сложные принципы рождения естественноисторического тела и феномена “почва” предваряют аналогичные принципы возникновения такого же тела и феномена, именуемого ландшафтом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабьева И.П., Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М. Биология почв. Изд. 3-е. М.: Изд. МГУ, 2005. 445 с.
2. Бадью А. Делёз. Шум бытия / пер. с фр. М.: Фонд научных исследований “Прагматика культуры”, издательство “Логос-Альтера” / “Ессе homo”, 2004. 184 с.
3. Берущавили Н.Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.
4. Делёз Ж. Логика смысла / пер. с фр. М.: Академия, 1995. 298 с.
5. Делёз Ж. Складка. Лейбниц и барокко / пер. с фр. М.: Логос, 1998. 264 с.
6. История Китайской философии / пер. с кит. М.: Прогресс, 1989. 552 с.
7. Коэн П. Дж. Теория множеств и континуум-гипотеза / пер. с англ. Изд. 2-е. М.: Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2010. 344 с.
8. Лосев А.Ф. Диалектические основы математики. М.: Academia, 2013. 800 с.
9. Нанси Ж.-Л. Corpus / пер. с фр. М.: Ad Marginem, 1999. 256 с.
10. Нееф Э. Теоретические основы ландшафтоведения / пер. с нем. М.: Прогресс, 1974. 219 с.
11. Подорога В.А. Метафизика ландшафта. Коммуникативные стратегии в философской культуре XIX–XX веков; 2-е изд. перераб. и доп. М.: “Канон+”, РООИ “Реабилитация”, 2013. 552 с.
12. Сергеев К.В. “Биологическое пространство” эстетического объекта: Павел Филонов и “биология развития” // Культура и пространство. Славянский мир: Сб. М.: Логос, 2004. С. 105–121.
13. Солнцев В.Н. О гравитационной парадигме ландшафтоведения // Ландшафтный сборник (Развитие идей Н.А. Солнцева в современном ландшафтоведении). М.-Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 155–169.
14. Тютюнник Ю.Г. О ландшафтной природе субъективности // Вопросы философии. 2020. № 3. С. 194–203.
15. Тютюнник Ю.Г. Тоталогия ландшафта. К.: Центр гуманітарної освіти НАН України, 2002. 122 с.
16. Хайдеггер М. Бытие и время / пер. с нем. Изд. 2-е, испр. СПб.: Наука, 2002. 452 с.

17. Харауэй Д. Оставаясь со смутой: Заводить сородичей в Хтулucose / пер. с англ. Пермь: Гиле Пресс, 2020. 340 с.

Topological Representation of Geocomponents

Yu. G. Tyutyunnik*

Institute for Evolutionary Ecology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

**E-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com*

The “geocomponents” as the classical concept of physical geography is rethought from the standpoint of existential topology (one of the concepts of modern poststructuralism). A geocomponent can be represented not only discursively by physical, physicochemical models, categories, concepts, but also purely topologically with the help of certain geometric images. This presentation is non-trivial and is carried out using a special line called ogive. It allows visualize a geocomponent as a multiple type. The hydrocomponent is visualized using a smooth curve, the atmocomponent is a dotted line, the lithocomponent is a polyline with obtuse and acute angles, the technogenic components are visualized by a right angle and a circle, the biota is a graph, the biosocial component is handwriting, the pedocomponent is a composite ogive composed of a horizontal closed contour and a vertical profile. The combination of contour and profile in the soil ogive is provided by its existential properties - care (cultivation) and gift (harvest). The compound character of the soil ogive precedes the physical and metaphysical representation of landscape.

Keywords: geocomponent, topology, metaphysics, ogive, mixture, care, gift, existence

REFERENCES

1. Bab'eva I.P., Zvyagincev D.G., Zenova G.M. *Biologiya pochv*. Izd. 3-e. M.: Izd. MGU, 2005. 445 s.
2. Bad'yu A. Delyoz. *Shum bytiya* / per. s fr. M.: Fond nauchnyh issledovaniy “Pragmatika kul'tury”, izdatel'stvo “Logos-Al'tera” / “Ecce homo”, 2004. 184 s.
3. Beruchashvili N.L. *Geofizika landshafta*. M.: Vysshaya shkola, 1990. 287 s.
4. Delyoz Zh. *Logika smysla* / per. s fr. M.: Akademiya, 1995. 298 s.
5. Delyoz Zh. *Skladka. Lejbnic i barokko* / per. s fr. M.: Logos, 1998. 264 s.
6. *Istoriya Kitajskoj filosofii* / per. s kit. M.: Progress, 1989. 552 s.
7. Koe'n P. Dzh. *Teoriya mnozhestv i kontinuum-gipoteza* / per. s angl. Izd. 2-e. M.: Knizhnyj dom “LIBROKOM”, 2010. 344 s.
8. Losev A.F. *Dialekticheskie osnovy matematiki*. M.: Academia, 2013. 800 s.
9. Nansi Zh.-L. *Corpus* / per. s fr. M.: Ad Marginem, 1999. 256 s.
10. Neef E. *Teoreticheskie osnovy landshaftovedeniya* / per. s nem. M.: Progress, 1974. 219 s.
11. Podoroga V.A. *Metafizika landshafta. Kommunikativnye strategii v filosofskoj kul'ture XIX–XX vekov; 2-e izd. pererab. i dop.* M.: “Kanon+”, ROOI “Reabilitaciya”, 2013. 552 s.
12. Sergeev K.V. “Biologicheskoe prostranstvo” esteticheskogo ob'ekta: Pavel Filonov i “biologiya razvitiya” // *Kul'tura i prostranstvo. Slavyanskij mir*: Sb. M.: Logos, 2004. S. 105–121.
13. Solncev V.N. O gravitacionnoj paradigme landshaftovedeniya // *Landshaftnyj sbornik (Razvitie idej N.A. Solnceva v sovremennom landshaftovedenii)*. M.-Smolensk: Ojkumena, 2013. S. 155–169.
14. Tyutyunnik Yu.G. O landshaftnoj prirode sub'ektivnosti // *Voprosy filosofii*. 2020. № 3. S. 194–203.
15. Tyutyunnik Yu.G. *Totallogiya landshafta*. K.: Centr humanitarnoi osviti NAN Ukraïni, 2002. 122 s.
16. Hajdegger M. *Bytie i vremya* / per. s nem. Izd. 2-e, ispr. SPb.: Nauka, 2002. 452 s.
17. Xarauej D. *Ostavayas' so smutoj: Zavodit' sorodichej v Xtulucene* / per. s angl. Perm': Gile Press, 2020. 340 s.

СЛОЖНОСТИ ВЕДЕНИЯ БИЗНЕСА В АРКТИКЕ И В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ

© 2022 г. С. П. Земцов^а, *, В. Л. Бабури^б, **, Ю. В. Царева^а, ***

^аРоссийская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

^бМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: spzemtsov@gmail.com

**E-mail: vbaburin@yandex.ru

***E-mail: tsareva-yv@ranepa.ru

Поступила в редакцию 25.10.2021 г.

После доработки 25.03.2022 г.

Принята к публикации 28.03.2022 г.

Северные и арктические регионы преимущественно за счет крупных сырьевых корпораций создают около четверти ВВП России, при этом территория отличается не благоприятными природно-географическими условиями. Долгие годы обсуждается вопрос о перспективах освоения и диверсификация экономики этих регионов за счет новых несырьевых бизнесов. Цель исследования – выявление особенностей и возможностей развития малых и средних предприятий (МСП) в северных и арктических регионах России с помощью картографических и эконометрических методов анализа. В статье показано, что издержки для малого бизнеса в Арктике и на Севере действительно выше, но не только из-за природных условий, но и из-за институциональных особенностей: “северные надбавки” и менее благоприятный деловой климат. Это ведет к усеченному развитию предпринимательских сетей, низкой плотности и недостаточному разнообразию малого бизнеса, слабому взаимодействию, его большей зависимости от крупных компаний и государства. Показано, что подобные предпринимательские экосистемы более уязвимы перед кризисами, а их восстановление, наоборот, задерживается. Тем не менее, на монополизированных местных рынках с высоким потребительским спросом производительность и рентабельность действующих (выживших) предприятий выше среднероссийской; особенно норма прибыли высока у крупных корпораций. В заключении описаны некоторые меры поддержки и перспективы развития северного предпринимательства.

Ключевые слова: малый и средний бизнес, предпринимательские экосистемы, Арктика, Север, издержки, рентабельность, северное предпринимательство

DOI: 10.31857/S0869607122020069

ВВЕДЕНИЕ

Районы Арктики¹ и Крайнего Севера² объединяют ряд территорий: Мурманскую, Магаданскую области, Камчатский край, республики Карелию, Коми, Саха (Якутию),

¹ Здесь и далее речь пойдет об Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), сухопутные границы которой установлены Приложением к Указу Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296. К Арктическим регионам будут относиться те, которые полностью входят в АЗРФ.

² Здесь и далее термины районы/регионы Крайнего Севера и северные регионы будут использоваться как взаимозаменяемые и обозначать регионы, территории которых входят в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции), утвержденный Постановлением Правительства РФ от 23 мая 2000 г. № 402 с последующими дополнениями и изменениями.

Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий АО, а также отдельные районы других субъектов РФ. Территории отличаются экстремальными природно-климатическими условиями и неблагоприятным экономико-географическим положением: низкими зимними и годовыми температурами воздуха, недостаточной инсоляцией, низкой транспортной доступностью (квазиостровное положение) [2, 16]. В то же время они обладают разнообразными и значительными по запасам минерально-сырьевыми (в первую очередь, нефтегазовыми) ресурсами, но чрезвычайно уязвимыми природными экосистемами. Это способствует сохранению низкой плотности и малочисленности населения при преимущественно площадном характере производственной деятельности. Таким образом, издержки для ведения бизнеса в Арктике и Северных регионах в целом выше, чем на остальной территории России [1]. В районах Крайнего Севера дополнительные затраты могут быть связаны с “северными” надбавками³, которые растут по мере повышения минимального размера оплаты труда (МРОТ), хотя их влияние неочевидно и зависит от договоренностей с работодателем. Впрочем, указанные издержки могут компенсироваться частично монопольным положением предприятий на местных рынках.

В Арктике и на Севере сформировались особые предпринимательские экосистемы [8] с преобладающим значением крупных сырьевых корпораций и государства [16]. В научной литературе этот феномен недостаточно изучен, хотя имеет практическое значение с точки зрения перспектив развития и диверсификации этих территорий. В нашей статье обсуждаются особенности и возможности развития малых и средних предприятий (МСП) в северных и арктических регионах России в современных условиях. Мы стремились ответить на несколько основных вопросов: насколько издержки ограничивают развитие МСП на этих территориях, нет ли компенсирующих преимуществ, и действительно ли малый бизнес здесь развит непропорционально слабее, чем на остальной территории страны, и не имеет перспектив?

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ

Природные условия влияют на возможности и ограничения развития бизнеса, но представления об их роли изменялись. Так, в соответствии с наиболее ранней концепцией *географического детерминизма* развитие определено условиями окружающей среды. Северные регионы отличаются повышенными издержками, которые влияют на возможность открыть предприятие и удержаться на рынке, особенно в периоды резкого ухудшения конъюнктуры [1]. Поэтому ведение бизнеса в Арктике долгое время было возможно только точечным вахтовым методом в наиболее рентабельных секторах, связанных с сырьем. Сегодня регионы, имеющие районы Крайнего Севера (6.7% населения), обеспечивают около 75% добычи полезных ископаемых в России за счет крупных компаний и госпроектов, способных преодолеть природные издержки.

В рамках *геопоссибилизма* неблагоприятные природные условия и их ухудшение могут рассматриваться как вызов (возможность), который предприниматели могут преодолеть путем развития новых технологий и институтов. Так, есть мнение, что северное предпринимательство более инновационное [10]. Впрочем, сырьевые отрасли создают слабый спрос на новые технологии. Так, в Германии число стартапов исторически ниже в регионах добычи угля [15], а в России — в добывающих центрах [18]. Долгосрочные темпы роста богатых ресурсами экономик могут быть ниже среднемировых [6] из-за моноспециализации и чрезмерной зависимости от мировой конъюнктуры и крупнейших корпораций (“голландская болезнь”), оттока кадров из технологичных компаний, снижения качества институтов из-за доступа к природной ренте (“ресурс-

³ Среди “северных льгот”: оплата труда работников с применением районных коэффициентов и процентных надбавок к заработной плате; сокращенная рабочая неделя для женщин; дополнительный ежегодный оплачиваемый отпуск и т. д.

ное проклятье”). Эти выводы преимущественно верны на уровне стран, но значительная часть нефтяной ренты внутри России изымается в федеральный бюджет и распределяется между всеми регионами. Так, институциональные условия на Севере нельзя назвать сугубо неблагоприятными [3, 4]; например, доля неформальной занятости несколько ниже средней по стране (табл. 1), а развитие массовых бизнесов в сырьевых центрах может быть даже выше благодаря высоким доходам населения [4].

Среди институциональных особенностей в Арктике заметно выше роль государства [16]. Для снижения затрат и митигации рисков малые предприятия здесь более активно используют контракты с государственными и муниципальными органами власти [16]. Так, если в среднем в России число таких контрактов составляет 133 в расчете на 1000 малых предприятий, то в Арктических регионах в среднем — 411. Да и в целом, доля предприятий в государственной и муниципальной собственности (ГУПы, МУПы) в Арктике выше: 22.7% при средней по стране в 6.6%, а соответственно выше влияние государства [16]. Также для снижения издержек предприятия чаще нанимают внешних совместителей [16]. Еще один способ адаптации — это регистрация бизнесов в более южных районах, что снимает необходимость выплат северных надбавок [16].

Природный индифферентизм, преобладавший на некоторых этапах хозяйственного освоения Севера в советский период, приводил к игнорированию многих природных закономерностей (“течет вода Кубань-реки куда велят большевики”) [9, 14]. В работе [14] приводится сравнение Канады и России: население и бизнес в первой стране осваивали территорию естественным путем, а в Советской России — за счет искусственных стимулов и крупных госпредприятий. Авторы рассчитали показатель температуры воздуха в январе, взвешенный на численность населения регионов, или цену холода. В Канаде значение составило в 1990 г. около -8.9°C и постоянно повышалось, а в РСФСР, наоборот, снижалось и достигло -12.6°C . Но авторы делали свои расчеты для регионов, где население сильно рассредоточено. Наши расчеты по муниципальным образованиям (рис. 1) показывают, что к 2016 г. средневзвешенная на население январская температура в России составляла уже около -8.9°C , то есть приблизилась к североамериканским значениям 30-летней давности из-за закрытия нерентабельных предприятий и постоянного оттока жителей на юг, более широкого использования вахтовых методов [9]. Большинство населения, вокруг которого сосредоточен сервисный малый бизнес, постоянно проживает в более комфортных условиях: в Арктике заметно неравномерное снижение плотности бизнесов с запада на восток. Попытки проводить схожую с советской политику освоения могут привести к снижению общей эффективности российской экономики [9].

Сегодня в рамках парадигмы *устойчивого развития* предполагается возможность развития бизнеса без существенного ущерба для окружающей среды. Поэтому по аналогии с природной экосистемой все чаще используется понятие предпринимательской экосистемы как совокупности взаимосвязанных бизнес-агентов, формирующихся и действующих в определенных природно-хозяйственных и институциональных условиях. Тогда, арктическое и северное предпринимательство — специфическое явление, требующее особых подходов к исследованию и поддержке [10, 11]. Оно необходимо для обеспечения естественных потребностей человека в самостоятельной деловой активности, комфортной жизни, свежей пище в суровых условиях. Это состоявшийся феномен, вносящий вклад в формирование новых рабочих мест, повышение динамичности и гибкости местной экономики. Просматриваются многочисленные параллели между предпринимателями и коренными народами севера в особенностях поведения и стратегиях адаптации [16].

Таблица 1. Статистика основных и дополнительных переменных модели за последний доступный год. Пояснения в тексте**Table 1.** Statistics of the main and additional variables of the model for the latest available year. Explanations in the text

Фактор	Переменная	Среднее. Все регионы	Медиана. Все регионы	Среднее. Аркти- ческие регионы	Среднее. Северные регионы
Плотность бизнеса	Число малых фирм, включая микро, на 1 тыс. численности рабочей силы	24.29	22.47	15.9	24.46
Природные издержки	Температура воздуха в ян- варе, градусы Цельсия	−11.1	−10.5	−18.4	−18.6
Доступ к рынкам	Рыночный потенциал, трлн руб. [4]	33.8	35.4	24.2	25
Спрос	Реальные денежные дохо- ды в расчете на душу насе- ления, руб.	2248	1817	5222	3093
Экономиче- ская ситуация	Уровень безработицы, %	5.98	5	5.03	6.5
Деловая среда	Число зарегистрирован- ных преступлений на 100000 человек населения, ед.	1316	1190	1323	1690
Переменные, не вошедшие в итоговую спецификацию моделей					
Доступ к внут- ренним рын- кам	ВРП на душу населения в постоянных ценах, тыс. руб.	694.73	449.29	3992	1378.1
	Уровень урбанизации, %	70.9	72	80.36	74.4
Человеческий капитал	Доля занятых горожан с высшим образованием, % [18]	11.3	10.5	15.96	12.09
Цифровиза- ция	Доля организаций, использующих доступ к широкополосному интернету, %	78.94	78.6	79	79.88
	Доля продаж через Интернет в торговле, %	2.66	2.1	1.45	2.05
Технологиче- ское развитие бизнеса	Доля инновационно активных организаций, %	8.43	8.1	6.37	7.07
	Число высокотехноло- гичных стартапов к рабочей силе [18]	9.03	8.36	3.7	8
Деловая среда	Доля занятых в нефор- мальном секторе, %	23.49	21.71	6.89	19.26
	Индекс инвестиционной привлекательности АСИ	246.4	247.2	222.8	240.9

Источник: рассчитано авторами по данным Росстата, если не указано иное.

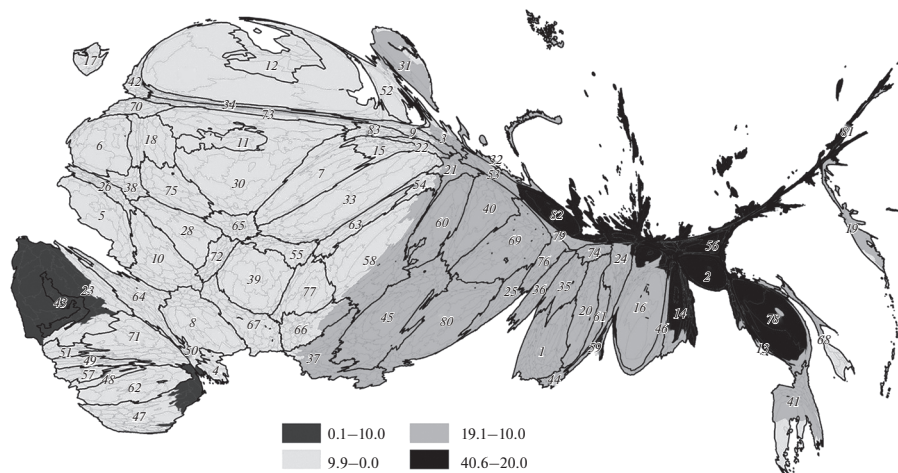


Рис. 1. Карта-анаморфоз численности населения в субъектах РФ. Размеры регионов изменены в зависимости от численности их населения. Фоном показана средняя температура января, взвешенная на население муниципального образования, °C (расчеты выполнены в рамках гранта РНФ № 17-77-20070).

Цифрами на карте указаны номера регионов: 1 – Алтайский край; 2 – Амурская обл.; 3 – Архангельская обл.; 4 – Астраханская обл.; 5 – Белгородская обл.; 6 – Брянская обл.; 7 – Владимирская обл.; 8 – Волгоградская обл.; 9 – Вологодская обл.; 10 – Воронежская обл.; 11 – город Москва; 12 – город Санкт-Петербург; 13 – Еврейская автономная обл.; 14 – Забайкальский край; 15 – Ивановская обл.; 16 – Иркутская обл.; 17 – Калининградская обл.; 18 – Калужская обл.; 19 – Камчатский край; 20 – Кемеровская обл. – Кузбасс; 21 – Кировская обл.; 22 – Костромская обл.; 23 – Краснодарский край; 24 – Красноярский край; 25 – Курганская обл.; 26 – Курская обл.; 27 – Ленинградская обл.; 28 – Липецкая обл.; 29 – Магаданская обл.; 30 – Московская обл.; 31 – Мурманская обл.; 32 – Ненецкий автономный округ; 33 – Нижегородская обл.; 34 – Новгородская обл.; 35 – Новосибирская обл.; 36 – Омская обл.; 37 – Оренбургская обл.; 38 – Орловская обл.; 39 – Пензенская обл.; 40 – Пермский край; 41 – Приморский край; 42 – Псковская обл.; 43 – Республика Адыгея; 44 – Республика Алтай; 45 – Республика Башкортостан; 46 – Республика Бурятия; 47 – Республика Дагестан; 48 – Республика Ингушетия; 49 – Кабардино-Балкарская Республика; 50 – Республика Калмыкия; 51 – Карачаево-Черкесская Республика; 52 – Республика Карелия; 53 – Республика Коми; 54 – Республика Марий Эл; 55 – Республика Мордовия; 56 – Республика Саха; 57 – Республика Северная Осетия-Алания; 58 – Республика Татарстан; 59 – Республика Тыва; 60 – Удмуртская Республика; 61 – Республика Хакасия; 62 – Чеченская Республика; 63 – Чувашская Республика; 64 – Ростовская обл.; 65 – Рязанская обл.; 66 – Самарская обл.; 67 – Саратовская обл.; 68 – Сахалинская обл.; 69 – Свердловская обл.; 70 – Смоленская обл.; 71 – Ставропольский край; 72 – Тамбовская обл.; 73 – Тверская обл.; 74 – Томская обл.; 75 – Тульская обл.; 76 – Тюменская обл.; 77 – Ульяновская обл.; 78 – Хабаровский край; 79 – Ханты-Мансийский автономный округ – Югра; 80 – Челябинская обл.; 81 – Чукотский автономный округ; 82 – Ямало-Ненецкий автономный округ; 83 – Ярославская обл.; 84 – Республика Крым; 85 – Город Севастополь.

Fig. 1. Anamorphic map of population in regions of Russia. The sizes of the regions are changed depending on the size of their population. The background shows the average January temperature, weighted by the population of the municipality, °C. The numbers on the figure indicate the Russian regions.

До недавнего времени специфика северных регионов не находила отражения в законодательных актах, а все процедуры унифицировались⁴. Так, например, в Стратегии развития МСП в России до 2030 г. [5] выделяются особые меры поддержки бизнеса на Северном Кавказе и Дальнем Востоке, но не в Арктике. Принятый в 2020 г. фе-

⁴ Например, очевидно, что обязательная установка онлайн-касс в Арктике могла привести к большим потерям из-за недоучета кочевого образа жизни и удаленности многих мест ведения бизнеса.

деральный закон №193 о господдержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) несколько улучшил ситуацию.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высокие издержки транспортировки грузов, себестоимость материалов и уровень заработной платы выступают факторами, которые должны повышать издержки и могут снижать рентабельность бизнеса в районах Крайнего Севера. Впрочем, действующие (выжившие) малые предприятия, в отличие от крупных и госпредприятий, более адаптивны и могли найти источник снижения затрат. Для сравнения уровня издержек для малого бизнеса в разных регионах России нами использованы данные последнего Сплошного статистического наблюдения малого и среднего бизнеса Росстата в 2015 г. о различных видах затрат МСП — юридических лиц.

Низкие производительность и рентабельность малого бизнеса в Арктике на Севере также неочевидны, так как издержки могут компенсироваться применением более успешных бизнес-моделей для роста прибыли. Для оценки рентабельности были использованы открытые данные ФНС России о доходах и расходах компаний в 2017 году⁵. Средняя норма прибыли для каждого региона рассчитывалась как отношение суммы доходов компаний к сумме их расходов минус 1, помноженная на 100. То есть норма прибыли в компании, где доходы и расходы равны, составляет 0%; там, где доходы превышают в 2 раза расходы, норма прибыли составит 100%. При этом база данных ФНС была предварительно очищена от сведений о компаниях, не ведущих деятельность (с нулевой отчетностью), не имеющих выручки, с очевидными опечатками.

Высокие издержки могут ограничивать развитие сектора МСП. Плотность бизнеса — число малых предприятий на 1000 чел. рабочей силы — в арктических регионах ниже, чем в среднем по стране, что нельзя сказать о северных регионах (см. табл. 1). Но простого сравнения плотности недостаточно для подтверждения гипотезы о специфичности арктического предпринимательства. Для этого необходимо учесть различия базовых факторов развития МСП (доступ к рынкам, уровень экономического и институционального развития и т.д.): если с их учетом арктические и/или северные территории выделяются низкой плотностью МСП, то можно говорить о специфичности; в противном случае, они лишь обладают худшими общими условиями, но не специфичными.

Для подтверждения гипотезы о специфичности, мы взяли за основу модель из работы [4], описывающей базовые факторы плотности малого бизнеса (см. табл. 1), дополнив ее фиктивными (бинарными) переменными тестовых групп: I — Арктические регионы, целиком относящиеся к Арктической зоне⁶; II — регионы, частично входящие в Арктическую зону⁷; III — Северные регионы⁸, в которых расположены районы Крайнего Севера и/или местности, приравненные к районам Крайнего Севера. Безусловно, существует множество различий в определении арктических и северных территорий и регионов, но дискуссия об этих различиях лежит за границами нашего исследования, а выбранный нами подход во многом обоснован доступностью данных.

⁵ Сведения о суммах доходов и расходов по данным бухгалтерской (финансовой) отчетности организации. URL: <https://www.nalog.gov.ru/opendata/7707329152-revexp/>.

⁶ Мурманская обл., Ненецкий АО, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО.

⁷ Красноярский край, Мурманская обл., Ненецкий АО, Республика Карелия, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО.

⁸ Амурская обл., Архангельская обл., Забайкальский край, Иркутская обл., Камчатский край, Красноярский край, Магаданская обл., Мурманская обл., Ненецкий АО, Пермский край, Приморский край, Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Карелия, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Республика Тыва, Сахалинская обл., Томская обл., Тюменская обл., Хабаровский край, Ханты-Мансийский АО — Югра, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО.

Таблица 2. Корреляционная матрица для переменных итоговой спецификации модели. Пояснения в тексте**Table 2.** Correlation matrix for the variables of the final specification of the model. Explanations in the text

Переменная	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) <i>EA</i>	1.000					
(2) <i>tempJan</i>	−0.017	1.000				
(3) <i>MarketPot</i>	0.367*	0.464*	1.000			
(4) <i>Income</i>	0.212*	−0.274*	−0.112*	1.000		
(5) <i>Unempl</i>	−0.357*	0.049	−0.150*	−0.231*	1.000	
(6) <i>Crime</i>	−0.100*	−0.545*	−0.495*	0.047	−0.057	1.000

Примечание. * Значимость коэффициента корреляции на 5% уровне.

$$\ln EA_{it} = \text{const} + \alpha_1^* \ln Unempl_{it} + \alpha_2^* \ln MarketPot_{it} + \alpha_3^* \ln Income_{it} + \\ + \alpha_4^* \ln Crime_{it} + \alpha_5^* \ln tempJan_{it} + \alpha_6^* RegDummy_{it} + \varepsilon_{it},$$

где i — регион России, от 1 до 82 (Республика Крым, г. Севастополь и Чеченская Республика исключены из-за частичного отсутствия данных), t — год (2007–2018), EA — число малых фирм, включая микро, к численности рабочей силы, $\alpha_1 \dots \alpha_6$ — искомые коэффициенты влияния факторов на плотность малого бизнеса, const — константа, $tempJan$ — средняя температура января, $MarketPot$ — рыночный потенциал, измеренный как размер рынков региона, соседних регионов и стран, взвешенный на расстояние до них [4], $Income$ — реальные денежные доходы в расчете на душу населения в ценах 1998 г., $Unempl$ — безработица, $Crime$ — число зарегистрированных преступлений на 100 000 человек, $RegDummy$ — фиктивные переменные, равные 1 для регионов, вошедших в соответствующую тестовую группу, ε_{it} — случайная ошибка. Все переменные логарифмированы для снижения разброса в данных и проверены на мультиколлинеарность (табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка издержек малого и среднего бизнеса. Удельные затраты МСП — юридических лиц в арктических и северных регионах существенно выше, чем в среднем по стране (табл. 3). Заметно, что затраты неравномерно растут по мере удаления от центральной России (рис. 2). В арктических регионах общие затраты в пересчете на одно рабочее место составляют 2050.4 тыс. рублей против 16.1 в среднем по стране, то есть практически запретительны для многих видов деятельности. Расходы на оплату труда в Арктике превышают 31.8 тыс. рублей в месяц при среднероссийском показателе 19.3, то есть выше на 65%; при учете стоимости потребительской корзины различия снижаются до 25%. По мере движения в более теплые части страны эта величина падает (рис. 2). Заметим, что в среднем в северных и арктических регионах работает более квалифицированная рабочая сила, сконцентрированная в городах, и требующая более высоких зарплат (см. табл. 1).

В арктических регионах доля расходов на аренду машин, оборудования и транспорта составляет 3.9 против 2.5% по России в целом. Доля этих издержек повышена в связи с географической удаленностью, труднодоступностью указанных территорий. Повышена доля затрат на оплату труда. Если в среднем по России она составляет 14.3%, то в арктических регионах — 23%. В целом, чем севернее регион, тем выше доля затрат на оплату труда в расходах компании. Это связано как с рыночным фактором — малым

Таблица 3. Затраты субъектов малого и среднего предпринимательства (юридические лица) в регионах России**Table 3.** Costs of small and medium-sized businesses (legal entities) in the Russian regions

Виды затрат	Арктические регионы	Регионы АЗРФ	Северные регионы	Россия
Сумма годовых затрат МСП, деленная на среднесписочную численность сотрудников в том же году, тыс. руб. на чел.	2050.4	332.1	107,9	16.1
Отношение годовых затрат МСП к их выручке за тот же год, %	30.9	5.8	1.7	0.2
Доля затрат на сырье и материалы в общем объеме годовых затрат, %	36.3	40.8	41.8	42.1
Доля затрат на аренду оборудования и транспорта, %	3.9	3.2	3.3	2.5
Доля платы за арендуемые помещения, %	3.6	4.1	3.8	4.8
Доля работ и услуг сторонних организаций, %	33.2	33.8	34.7	36.1
Доля затрат на труд, %	23	18.2	16.5	14.3

Таблица 4. Норма прибыли разных типов предприятий на различных территориях России, 2017 г., %**Table 4.** The rate of return of different types of enterprises in different territories of Russia, 2017, %

Территории	Крупные предприятия	Средние предприятия	Малые предприятия	Микро-предприятия	Все предприятия
Российская Федерация	4.7	3.1	0.9	−30.5	−4.1
Арктические регионы	12.2	3.3	1.4	3.1	6.8
Северные регионы	8.8	−0.1	2.1	3.1	4.3

количеством трудовых ресурсов из-за непривлекательности условий жизни, так и с результатом государственного вмешательства — северными надбавками.

Также важна обратная закономерность в отношении доли работ и услуг сторонних организаций в затратах компаний: она минимальна в арктических регионах (33.2 против 36% в среднем по России) и повышается при движении на юг. Это, вероятно, связано с тем, что при малом числе организаций слабо развит аутсорсинг непрофильных функций компаний, низка интенсивность взаимодействия, в том числе межличностного, в зимний период. Кроме того, в Арктике традиционно создавались компании универсальной специализации, ориентированные на замкнутое самообеспечение. На арктических предприятиях выше доля собственного производства товаров и услуг [16].

Рентабельность и производительность малого и среднего бизнеса. Суммарные доходы предприятий в России были ниже их расходов, поэтому норма прибыли согласно нашей формуле принимает отрицательное значение (табл. 4). Наиболее низкая рентабельность у микропредприятий, многие из которых создавались для оптимизации налогообложения [8], завышали расходы и занижали доходы, особенно при реализации продукции на теневом рынке. Выше их доля в южных регионах, где максимальна доля неформального сектора в сельском хозяйстве, строительстве и торговле.

В регионах, полностью входящих в АЗРФ, норма прибыли всех групп предприятий выше, чем в среднем по стране. Наибольшее значение наблюдается у крупных пред-

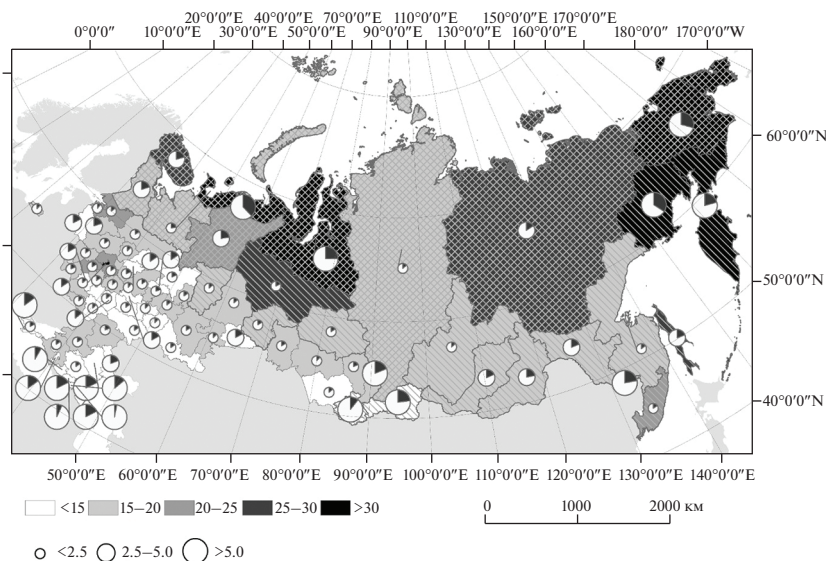


Рис. 2. Издержки субъектов МСП (ЮЛ). Фоном показана оплата труда в расчете на одно рабочее место, тыс. руб. Размер кружка — общие затраты субъектов МСП к числу занятых, тыс. руб. в год, темным сектором на картодиаграмме выделена доля затрат на труд. Диагональной штриховкой выделены регионы, территории которых частично отнесены к районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям, а двойной штриховкой — регионы, имеющие территории, относящиеся к Арктической зоне.

Fig. 2. Costs of small and medium-sized businesses (legal entities) in the Russian regions. The background shows wages per one workplace, thousand rubles. Circle size is total costs of SMEs to the number of employees, thousand rubles per year; the share of labor costs is highlighted in the dark sector on the chart diagram. The diagonal shading marks the regions, the territories of which are partially referred to the regions of the Far North and equivalent areas, and the double shading marks the regions with territories belonging to the Arctic zone.

приятий АЗРФ (12.2%), которые преимущественно представлены сырьевыми корпорациями⁹. Рентабельность в арктических и северных регионах может быть выше из-за малого числа фирм на местных рынках (монопольное и олигопольное положение), а также платежеспособного потребительского спроса, особенно в добывающих центрах.

Доходы в арктических регионах в 3.84 раза выше, чем прожиточный минимум, в России это соотношение составляет 3.2.

В среднем в арктических регионах доля МСП в ВВП составляет по данным на 2019 г. незначительные 4.46% (в России — 22.5%, а наименьшее значение — в Ненецком АО — 1.5%)¹⁰, но производительность труда в секторе МСП в этих регионах выше средней по стране — 1.42 млн руб. на одного занятого и 1.14 соответственно (в Магаданской области — 2, в Якутии — 1.8). Бизнес выживает на Севере, если становится достаточно производительным. Но скорее это связано с позицией на рынке, спецификой продукции и услуг, а не внедрением новых технологий: доля инновационно-активных организаций в арктических регионах в среднем 6.4%, а в России — 9.1%, ниже плотность технологических стартапов, а уровень использования ИКТ немногим выше при слабом развитии онлайн-торговли (см. табл. 1).

⁹ Последние часто заявляют о чрезмерной социальной и инфраструктурной нагрузке и необходимости расширения налоговых льгот.

¹⁰ ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/60421>.



Рис. 3. Динамика числа субъектов МСП в России и северных регионах, год к году, % (значение 2008 г. = 100%); составлено авторами по данным Росстата [5].

Fig. 3. Dynamics of the number of SMEs in Russia and in the northern regions, year on year, % (2008 value = 100%); compiled by the authors based on Rosstat data [5].

Плотность малого бизнеса и его основные детерминанты. На территории регионов, имеющих районы Крайнего Севера и приравненные местности, сосредоточено около 15.4% всех МСП в России, хотя их доля в населении несколько выше — 16.7%. На рис. 3 отчетливо видно, что динамика числа МСП в арктических и северных регионах была ниже, чем в среднем по стране, падение в период кризисов могло быть выше, а восстановление — слабее. Эти закономерности подтверждает и коронакризис 2020 г. [13]. Число субъектов малого и среднего предпринимательства в России в целом сократилось на 4.1% в 2020 г. из-за введенных противоэпидемиологических ограничений и резкого снижения спроса [8, 13], а в арктических регионах — на 4.8%, причем падение продолжилось и в 2021 г. Одним из факторов адаптации бизнеса в 2020–2021 гг. стала цифровизация процессов и продаж, но из-за низкой плотности и удаленности поселений в северных регионах этого добиться не удалось, хотя население и бизнес в среднем несколько лучше обеспечены ИКТ (см. табл. 1).

Отношение числа малых предприятий к рабочей силе может служить хорошим индикатором развития предпринимательской экосистемы. Наибольшая плотность малого бизнеса фиксируется в крупнейших городах Арктической зоны (Мурманск, Архангельск, Салехард). Крупные агломерации обладают большими потребительскими рынками, развитой инфраструктурой (доступ к помещениям и оборудованию), разнообразием потребителей и, как следствие, производителей. Плотность субъектов МСП в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях составляет около 35.3 на 1000 жителей при среднероссийском значении в 38.3, а медианном — 34.2; в арктических регионах это значение существенно ниже — 31.1.

В отраслевой структуре малого бизнеса Арктики и Севера снижается доля наиболее массового сегмента — торговли. Заметно выше и непрерывно росла доля транспорта и хранения из-за больших расстояний и продолжительных зим, а развитие производств и массового сельского хозяйства (за исключением оленеводства) угнетено высокими издержками. Относительно развито лесное хозяйство, сбор дикоросов и рыболовство.

Таблица 5. Отраслевая структура предприятий малого бизнеса в 2018 г., % (в скобках — данные 2010 г.); рассчитано авторами по данным Росстата**Table 5.** Sectoral structure of small businesses in 2018, % (in parentheses — data from 2010); calculated by the authors according to Rosstat

Группы отраслей	Арктика	Север	Россия
Торговля и ремонт	29.7 (31.1)	32.3 (34.5)	34.8 (36.4)
Строительство	13.8 (14.2)	13.6 (13.2)	12.7 (12.4)
Транспортировка и хранение	10.5 (9.9)	8.5 (8.4)	6.6 (6.6)
Недвижимость	9.4 (9.1)	7.9 (7.7)	7.8 (7.6)
Обрабатывающая промышленность	6 (5.9)	7.2 (6.9)	8.4 (8.2)
Иные	30.6 (29.8)	30.5 (29.3)	29.7 (28.8)

Так, плотность бизнеса выше в регионах, где развито рыболовство как отрасль специализации МСП (Камчатский край). Растет доля туризма и интернет-сервисов. Специфичны различные формы услуг сырьевым корпорациям: землеустройство, монтаж, изыскания и т.д. (табл. 5).

Исходя из наших расчетов (табл. 6), на развитие малого бизнеса в регионах России в целом влияют: спрос — объем доступных рынков и доходы населения, институциональная среда (преступность) и климатические издержки. Так, если температура января на 1% ниже в регионе, то и плотность бизнеса в нем будет на 0.72–0.88% ниже, а если преступность выше на 1%, то плотность бизнеса ниже на 0.42–0.47%. В среднем деловой климат в арктических и северных регионах более суровый с точки зрения преступности и формальных условий для инвесторов (см. табл. 1), но доходы населения несколько выше даже с учетом различий в ценах. Уровень безработицы незначим, хотя безработные часто становятся вынужденными предпринимателями, а данная переменная важна как контрольная для учета уровня экономических различий.

Для регионов, целиком или частично входящих в Арктическую зону (модели 2 и 3), при прочих равных условиях специфична низкая плотность малого бизнеса: на 0.74% ниже, чем в других регионах. Причем она ниже даже с учетом природных и географических особенностей Арктической территории в модели. Для северных регионов в целом эта закономерность не подтверждается, так как переменная незначима (модель 4). Столь низкая плотность малого бизнеса в Арктике может быть обусловлена также намеренной регистрацией компаний южнее для снижения издержек на заработную плату.

ВЫВОДЫ

Общая экстремальность природно-климатических условий, удаленность от крупных экономических центров увеличивают большинство издержек ведения бизнеса в арктических и северных регионах, особенно расходы на отопление, строительство и транспортировку. Поэтому роль крупных компаний и государства — определяющая. Специфические особенности арктических регионов значимо снижают плотность малого бизнеса даже при прочих равных условиях. В периоды кризисов глубина падения в арктических и северных регионах выше, а скорость восстановления — ниже.

В результате развитие МСП в районах Арктики и Крайнего Севера имеет ряд объективных ограничивающих факторов и отстает от среднего по стране, что требует особого внимания при проведении политики поддержки МСП. Причем унифицированные подходы к стимулированию конкуренции и поощрению массового предпринимательства могут привести к снижению рентабельности и закрытию высокорисковых по определению бизнесов, что не раз отмечалось в литературе даже для обжитых территорий [17]. Важны системные меры по снижению энергетических и транспортных рас-

Таблица 6. Результаты эконометрической оценки факторов развития малого бизнеса в регионах России. Модель со случайными эффектами с использованием робастных стандартных ошибок. Все переменные, кроме фиктивных, логарифмированы. P-value: * — значим на 10% уровне, ** — значим на 5% уровне, *** — значим на 1% уровне. Остальные пояснения в тексте

Table 6. Results of econometric assessment of factors of small business development in the Russian regions. Explanations in the text

Панельные данные: 82 региона России, 2007–2018 гг.	Зависимая переменная: число малых предприятий на 1000 чел. рабочей силы			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Средняя температура января	–.782*** (.207)	–.876*** (.217)	–.863*** (.205)	–.719*** (.189)
Объем доступных рынков	.355*** (.028)	.357*** (.029)	.356*** (.028)	.353*** (.028)
Реальные денежные доходы	.52*** (.088)	.592*** (.087)	.566*** (.085)	.5*** (.095)
Уровень безработицы	–.005 (.057)	–.018 (.06)	–.004 (.058)	–.007 (.058)
Преступность	–.457*** (.08)	–.42*** (.082)	–.444*** (.079)	–.467*** (.08)
Арктические регионы		–.741*** (.189)		
Регионы с Арктическими территориями			–.338* (.19)	
Северные регионы				.082 (.112)
Константа	4.905*** (1.247)	4.553*** (1.301)	4.844*** (1.273)	4.833*** (1.216)
Число наблюдений	984	984	984	984
Wald Chi ²	603.6***	662.4***	651.1***	601.1***
Rho	0.692	0.655	0.688	0.694

ходов, затрат на оплату труда, гранты и консультации для начинающих предпринимателей в специфичных для Арктики видах деятельности, в том числе традиционных промыслах. Важно стимулировать взаимодействие между бизнесами, формировать сети (кластерные инициативы, ярмарки закупок и т.д.), которые более устойчивы в кризисные времена. В ряде зарубежных стран малому бизнесу в северных регионах предоставляются дополнительные налоговые льготы; в России расходы растут за счет северных надбавок, а льготы предоставляются крупному бизнесу при реализации мегапроектов.

На наш взгляд, перспективы арктического предпринимательства во многом связаны с уникальностью продукта и услуг, что позволит обеспечить дополнительную ренту и особое положение на рынках. Это могут быть традиционные промыслы, производство северных продуктов, туризм, альтернативная энергетика, новые подходы к энергосбережению, сбор дикоросов, новые средства передвижения и т.д. [10, 11, 16]. Есть возможности для развития интернет-экономики благодаря высокой обеспеченности населения и бизнеса соответствующими технологиями, в том числе спутниковой связью.

С изменением климата, природные риски растут из-за таяния многолетнемерзлых грунтов, отступления берегов, пожаров; соответственно, возрастают издержки из-за разрушения инфраструктуры, дополнительных расходов на адаптацию, хотя расширяются возможности навигации. Малый бизнес благодаря своей гибкости может лучше адаптироваться к подобным изменениям. Ориентация на возобновляемые источники энергии в мире и санкционное давление могут подорвать возможности освоения Арктики за счет крупных сырьевых корпораций.

Работа выполнена в рамках госзадания РАНХиГС, а также гранта РФФИ № 20-05-00695. Авторы благодарят за помощь в обработке данных и расчетах А.Н. Красносельских, в подготовке иллюстративных материалов — А.А. Михайлова и В.М. Кидяеву.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабурин В.Л. Совокупные издержки как базовая категория оценки хозяйственной деятельности в Арктике // Известия РАН. Серия географическая. 2018. №. 3. С. 18–25. <https://doi.org/10.7868/S2587556618030032>
2. Бабурин В.Л., Бадина С.В., Горячко М.Д., Земцов С.П. Зоны концентрации социально-экономического потенциала Арктики // Меняющийся климат и социально-экономический потенциал российской Арктики. М., 2015. С. 74–128.
3. Баранов А.Ю., Малков Е.С., Полищук Л.И., Рохлиц М., Сюняев Г.Р. Измерение институтов в российских регионах: методология, источники данных, анализ // Вопросы экономики. 2015 (2). С. 69–103. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2015-2-69-103>
4. Баранова В.А., Земцов С.П., Царева Ю.В. Предпринимательство и институты: есть ли связь на региональном уровне в России // Вопросы экономики. 2018. № 6. С. 92–116. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-6-92-116>
5. Баранова В., Земцов С., Коцюбинский В., Красносельских А., Царева Ю. Выполнение стратегии развития малого и среднего предпринимательства в России // Экономическое развитие России. 2018. Т. 25. № 11. С. 36–45.
6. Гурьев С., Сонин К. Экономика “ресурсного проклятия” // Вопросы экономики. 2008. №. 4. С. 61–74.
7. Замятина Н.Ю., Гончаров Р.В. Арктическая урбанизация: феномен и сравнительный анализ // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. №. 4. С. 69–82.
8. Земцов С.П. Институты, предпринимательство и региональное развитие в России // Журнал Новой экономической ассоциации. 2020. Т. 46. №. 2. С. 168–180. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2020-46-2-9>
9. Михайлова Т.Н. География не судьба! (комментарии к “Сибирскому проклятию” Ф. Хилл и К. Гэдди) // Journal of Institutional Studies (Журнал институциональных исследований). 2011. Т. 3. №. 1. С. 93–102.
10. Пилиасов А.Н., Замятина Н.Ю. Арктическое предпринимательство: условия и возможности развития // Арктика: экология и экономика. 2016. Т. 4. С. 4–15.
11. Пилиасов А.Н. Предпринимательство в Арктике: Проблемы развития малого и среднего бизнеса в Арктической зоне, или чем арктические предприниматели похожи на белых медведей? М.: URSS, 2021. 400 с.
12. Российская экономика в 2019 году. Тенденции и перспективы (Вып. 41). М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2020. 632 с.
13. Российская экономика в 2020 году. Тенденции и перспективы (Вып. 42). М.: Изд-во Ин-та Гайдара, 2021. 712 с.
14. Hill F., Gaddy C.G. The Siberian curse: How communist planners left Russia out in the cold. Washington: Brookings Institution Press, 2003. 302 p.
15. Fritsch M., Wyrwich M. Regional knowledge, entrepreneurial culture, and innovative start-ups over time and space — an empirical investigation // Small Business Economics. 2018. 51(2). pp. 337–353.
16. Pilyasov A.N. Arctic entrepreneurship development factors// Geography, Environment, Sustainability. 2020. 13(1). pp. 46–56.
17. Shane S. Why encouraging more people to become entrepreneurs is bad public policy// Small business economics. 2009. 33(2). pp. 141–149.
18. Zemtsov S., Chepurenko A., Mikhailov A. Pandemic Challenges for the Technological Startups in the Russian Regions// Foresight and STI Governance. 2021. 15(4). pp. 61–77. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.4.61.77>

Difficulties of doing business in the Arctic and Northern regions of Russia

S. P. Zemtsov¹, *, V. L. Baburin², **, and Yu. V. Tsareva¹, ***

¹*Russian Academy of National Economy and Public Administration
under the President of the Russian Federation, Moscow, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*E-mail: spzemtsov@gmail.com

**E-mail: vbaburin@yandex.ru

***E-mail: tsareva-yv@ranepa.ru

The northern and arctic regions generate about a quarter of Russia's GDP at the expense of large commodity corporations, while the territory is characterized by unfavorable natural conditions. For many years, the question of the prospects for the development and diversification of the economy of these regions through new non-primary businesses has been discussed. The purpose of the study is to identify the features and opportunities for the development of small and medium-sized enterprises (SMEs) in the northern and Arctic regions of Russia using cartographic and econometric methods. The article shows that the costs for small businesses in the Arctic and the North are indeed higher, but not only because of natural conditions, but also because of institutional features: "northern allowances" and a less favorable business climate. This leads to a truncated development of entrepreneurial networks, low density and insufficient diversity of small business, weak interaction, its greater dependence on large companies and the state. Such entrepreneurial ecosystems are more vulnerable to crises, and their recovery, on the contrary, is delayed. However, in monopolized local markets with high consumer demand, the productivity and profitability of existing (surviving) enterprises may be higher than the Russian average; especially the rate of return is high in large corporations. In conclusion, some public support measures and prospects for the development of northern entrepreneurship are described.

Keywords: small and medium business, entrepreneurial ecosystems, Arctic, North, costs, profitability, northern entrepreneurship

REFERENCES

1. Baburin V.L. Sovokupnye izderzhki kak bazovaya kategoriya ocenki xozyajstvennoj deyatel'nosti v Arktike // *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*. 2018. № 3. S. 18–25.
<https://doi.org/10.7868/S2587556618030032>
2. Baburin V.L., Badina S.V., Goryachko M.D., Zemczov S.P. Zony koncentracii social'no-ekonomicheskogo potenciala Arktiki // *Menyayushhiysya klimat i social'no-ekonomicheskij potencial rossijskoj Arktiki*. M., 2015. S. 74–128.
3. Baranov A.Yu., Malkov E.S., Polishchuk L.I., Roxlicz M., Syunyaev G.R. Izmerenie institutov v rossijskix regionax: metodologiya, istochniki dannyh, analiz // *Voprosy ekonomiki*. 2015 (2). S. 69–103.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2015-2-69-103>.
4. Baranova V.A., Zemczov S.P., Czareva Yu.V. Predprinimatel'stvo i instituty: est' li svyaz' na regional'nom urovne v Rossii // *Voprosy ekonomiki*. 2018. № 6. S. 92–116.
<https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-6-92-116>.
5. Baranova V., Zemczov S., Koczubinskij V., Krasnosel'skih A., Czareva Yu. Vypolnenie strategii razvitiya malogo i srednego predprinimatel'stva v Rossii // *Ekonomicheskoe razvitie Rossii*. 2018. T. 25. № 11. S. 36–45.
6. Guriev S., Sonin K. Ekonomika resursnogo proklyatiya // *Voprosy ekonomiki*. 2008. № 4. S. 61–74.
7. Zamyatina N.Yu., Goncharov R.V. Arkticheskaya urbanizaciya: fenomen i sravnitel'nyj analiz // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2020. № 4. S. 69–82.
8. Zemczov S.P. Institut', predprinimatel'stvo i regional'noe razvitie v Rossii // *Zhurnal Novej ekonomicheskoy associacii*. 2020. T. 46. № 2. S. 168–180.
<https://doi.org/10.31737/2221-2264-2020-46-2-9>
9. Mixajlova T.N. Geografiya ne sud'ba! (komentarii k "Sibirskomu proklyatiyu" F. Xill i K. Geddi) // *Journal of Institutional Studies (Zhurnal institucional'nyh issledovanij)*. 2011. T. 3. № 1. S. 93–102.

10. Pilyasov A.N., Zamyatina N.Yu. Arkticheskoe predprinimatel'stvo: usloviya i vozmozhnosti razvitiya // *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 2016. T. 4. S. 4–15.
11. Pilyasov A.N. Predprinimatel'stvo v Arktike: Problemy razvitiya malogo i srednego biznesa v Arkticheskoy zone, ili chem arkticheskie predprinimateli poxozhi na belyh medvedej? M.: URSS, 2021. 400 s.
12. Rossijskaya ekonomika v 2019 godu. Tendencii i perspektivy (Vyp. 41). M.: Izd-vo In-ta Gajdara, 2020. 632 s.
13. Rossijskaya ekonomika v 2020 godu. Tendencii i perspektivy (Vyp. 42). M.: Izd-vo In-ta Gajdara, 2021. 712 s.
14. Hill F., Gaddy C.G. The Siberian curse: How communist planners left Russia out in the cold. Washington: Brookings Institution Press, 2003. 302 p.
15. Fritsch M., Wyrwich M. Regional knowledge, entrepreneurial culture, and innovative start-ups over time and space – an empirical investigation // *Small Business Economics*. 2018. 51(2). S. 337–353.
16. Pilyasov A.N. Arctic entrepreneurship development factors // *Geography, Environment, Sustainability*. 2020. 13(1). S. 46–56.
17. Shane S. Why encouraging more people to become entrepreneurs is bad public policy // *Small business economics*. 2009. 33(2). Pp. 141–149.
18. Zemtsov S., Chepurensko A., Mikhailov A. Pandemic Challenges for the Technological Startups in the Russian Regions // *Foresight and STI Governance*. 2021. 15(4). S. 61–77.
<https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.4.61.77>

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В НАГОРЬЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ШРИ-ЛАНКИ (1866–2019 гг.)

© 2022 г. С. Е. Витковская^{a, b, *}, А. Р. Хапу Араччиге^{a, **}

^aРоссийский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

^bАгрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru

**E-mail: rukmalayesh@gmail.com

Поступила в редакцию 15.12.2021 г.

После доработки 27.02.2022 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.

В статье представлены результаты анализа климатических изменений в нагорьях центральной Шри-Ланки за длительный период наблюдения (1866–2019 гг.). Значения средних сезонных температур указывают на высокую степень однородности температурного режима тестируемой территории в течение года. Коэффициенты вариации, характеризующие временную неоднородность температуры атмосферного воздуха в течение периода наблюдения, зависят от высоты над уровнем моря и изменялись в пределах от 1.6–2.1% (477 м) до 3.1–5.6% (1880 м). Установлено, что средняя за сезон температура атмосферного воздуха на большей части исследуемой территории (670–1880 м над уровнем моря) достоверно возрастала со скоростью 0.007–0.014°C/год, а на высоте 477 м (г. Канди) не имела существенных различий на протяжении всего периода наблюдений. Показано, что динамика среднего за сезон количества осадков характеризовалась гораздо более высокой степенью неоднородности: коэффициенты вариации данного показателя изменялись в пределах от 28 до 46%. Наиболее существенные изменения количества осадков на территории Центрального нагорья Шри-Ланки имели место в период юго-западного муссона (май–сентябрь). В период юго-западного сезона дождей на высоте 477 м (г. Канди) и 1880 м (г. Нуvara Элия) количество осадков линейно снижалось со скоростью -2.2 ± 0.4 и -3.44 ± 0.54 мм/год соответственно. Достоверное снижение количества осадков было выявлено также в период северо-восточного муссона (декабрь–февраль) на высоте 670 м (Бадулла).

Ключевые слова: нагорья центральной Шри-Ланки, климатические изменения, динамика температуры атмосферного воздуха, динамика количества осадков

DOI: 10.31857/S0869607122020057

ВВЕДЕНИЕ

Центральное нагорье Шри-Ланки включено в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Здесь расположены также особо охраняемые природные территории: заповедный лес Наклс, Пик Уайлдернесс и национальный парк Хортон-Плейнс. В уникальных природных комплексах, представленных тропическими лесами и предгорными лугами, обитают более половины видов эндемичных позвоночных животных, а также более 34% эндемичных видов деревьев, кустарников и трав Шри-Ланки [4].

На современном этапе одной из основных угроз биоразнообразию страны является изменение климата. Наблюдается сокращение распространения и численности видов

растений и животных, особенно эндемиков [8]. Для такой небольшой островной страны как Шри-Ланка последствия изменения климата могут быть особенно серьезны для сельскохозяйственного сектора, продовольственной безопасности, водных и прибрежных ресурсов, здоровья людей [8]. Результаты исследований [5, 9–11] свидетельствуют о снижении количества осадков и усилении тенденций возрастания экстремальных температур в Шри-Ланке в течение последних 140 лет: произошло систематическое потепление атмосферы во всех климатических зонах Шри-Ланки; темпы потепления превысили среднюю скорость потепления в мире. На большей части территории острова уменьшение количества осадков сопровождалось потеплением нижних слоев атмосферы. Отмечают [5], что если в глобальном масштабе на климат Шри-Ланки повлияли парниковый эффект и колебания Эль-Ниньо, то на региональном уровне различия в трендах изменения температуры воздуха и осадков обусловлены такими факторами, как высота над уровнем моря, морфология рельефа, циркуляция атмосферного воздуха, растительность и т.д.

Тенденции изменения экстремальных индексов температуры воздуха и осадков на территории Шри-Ланки изучают с 1980 г. по данным 19-ти метеорологических станций [7]: установлено, что среднегодовые средние минимальные температуры на большей части территории возрастают, а разница между максимальной и минимальной температурами и суточный диапазон температур снижаются. Наблюдаются тенденции увеличения экстремальных осадков (максимальное количество осадков за один день, максимальное количество осадков за пять дней и общее количество осадков в дни с экстремальными дождями) на большей части острова, что существенно влияет на показатель общего количества осадков. Угрозы, связанные с изменениями климата, определяют актуальность исследований динамики метеорологических показателей и выявления тенденций, способных вызвать существенные экологические изменения на территории острова.

Цель работы: установить тенденции сезонных климатических изменений в нагорьях центральной Шри-Ланки в период 1866–2021 гг. в зависимости от высоты над уровнем моря.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климат Шри-Ланки – субэкваториальный муссонный. Времена года различаются, в основном, количеством осадков. Внутригодовая разница температур воздуха незначительна. В данном регионе выделяют следующие климатические сезоны: 1) первый межмуссонный сезон (март–апрель); 2) сезон юго-западного муссона (май–сентябрь); 3) второй межмуссонный сезон (октябрь–ноябрь); 4) сезон северо-восточного муссона (декабрь–февраль).

На территории Центрального нагорья Шри-Ланки (Центральная провинция и восточная часть провинции Ува) в течение 159 лет ведутся наблюдения за температурой атмосферного воздуха и количеством осадков. В настоящем исследовании были использованы данные, полученные на метеостанциях, расположенных в следующих округах указанных выше провинций: Канди, Нуvara Элия, Бадулла и Дияталава. Высота их расположения над уровнем моря составляет 477, 1880, 670, 1248 м соответственно [2, 3, 6] (рис. 1).

С целью изучения тенденций изменения климата на тестируемой территории анализировали динамику средних за сезон температуры атмосферного воздуха и количества осадков (1866–2017 гг.). Математическую обработку данных проводили в программе ORIGIN 7,5.

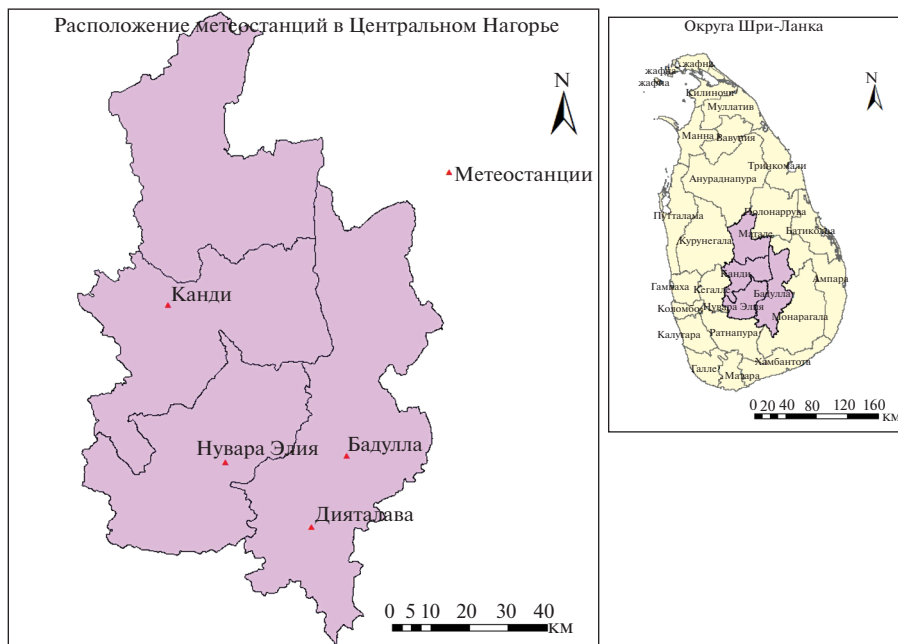


Рис. 1. Расположение метеостанций в районе исследования (Центральное нагорье Шри-Ланки).

Fig. 1. Location of meteorological stations in the study area (Central Highlands of Sri Lanka).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вариационно-статистические показатели (табл. 1) позволяют оценить временную и пространственную неоднородность температуры атмосферного воздуха на изучаемой территории в период 1866–2019 гг. Значения средних сезонных температур (M) указывают на высокую степень однородности температурного режима в течение года. Коэффициенты вариации ($v\%$), характеризующие временную неоднородность температуры атмосферного воздуха в течение периода наблюдения, зависели от высоты над уровнем моря и изменялись в пределах от 1.6–2.1% (477 м) до 3.1–5.6% (1880 м).

Коэффициенты корреляции R , характеризующие зависимость значения $v\%$ от высоты над уровнем моря, составили для 1–4 климатических сезонов 0.891, 0.981, 0.538 и 0.941 соответственно, при критическом значении r на 5% уровне значимости 0.950.

Динамику среднесезонной температуры атмосферного воздуха аппроксимировали линейной моделью:

$$T(t) = T_0 + bt, \quad (1)$$

где $T(t)$ – средняя за сезон температура на момент времени t , T_0 – минимальная температура, b – скорость увеличения средней сезонной температуры, °C/год. Параметры модели представлены в табл. 2.

Установлено, что средняя за сезон температура атмосферного воздуха на большей части исследуемой территории (670–1880 м над уровнем моря) достоверно возрастала со скоростью 0.007–0.014°C/год (см. табл. 2), на высоте 477 м (Канди) не имела существенных различий на протяжении всего периода наблюдений (112 лет). Наиболее тесная корреляционная связь между среднесезонной температурой и временем наблюдается на высоте 1880 м над уровнем моря (рис. 2, табл. 2).

Таблица 1. Вариационно-статистические показатели, характеризующие сезонную неоднородность средней температуры атмосферного воздуха и суммы количества осадков в Центральном нагорье Шри-Ланки в период 1866–2019 гг.

Table 1. Variational and statistical indicators characterizing the seasonal heterogeneity of the average atmospheric air temperature and the sum of precipitation in Central Highlands of Sri Lanka in the 1866–2019 period

Параметр	Первый меж-муссонный сезон		Юго-западный муссон		Второй меж-муссонный сезон		Северо-восточный муссон	
	$T, ^\circ\text{C}$	осадки, мм	$T, ^\circ\text{C}$	осадки, мм	$T, ^\circ\text{C}$	осадки, мм	$T, ^\circ\text{C}$	осадки, мм
Канди ($T, ^\circ\text{C}$ – 1871–1982 гг.; Осадки – 1866–2017 гг.), 477 м								
Min	24.7	13.5	23.6	291	23.2	226	22.8	89
Max	27.3	687	25.9	1653	25.2	946	25.2	1135
M	25.9	283	24.8	767	24.4	558	24,0	400
$\pm\delta$	0.5	110	0.4	244	0.4	156	0.5	183
$v, \%$	1,9	39	1.6	32	1.6	28	2.1	46
Бадулла ($T, ^\circ\text{C}$ – 1941–2017 гг.; осадки – 1882–2017 гг.), 670 м над ур. М.								
Min	23.1	47	23.7	124	16.0	181	20.4	130
Max	25.6	567	25.9	838	25.0	1452	23.2	1779
M	24.0	301	24.7	397	23.3	502	21.8	606
$\pm\delta$	0.6	111	0.5	136	1.0	179	0.5	271
$v, \%$	2.5	37	2.0	34	4.3	36	2.3	45
Дияталава (1901–2017 гг.), 1248 м над ур. М.								
Min	19.5	66	20.4	181	18.2	7.4	17.6	122
Max	22.0	717	22.6	1198	21.3	1742	20.1	1063
M	20.5	309	21.4	466	20.0	544	18.7	428
$\pm\delta$	0.5	125	0.5	178	0.5	247	0.5	186
$v, \%$	2.4	40	2.3	38	2.5	45	2.7	43
Нуvara Элия (1867–2019 гг.), 1880 м над ур. М.								
Min	14.0	22.6	14.3	273	11.0	181	12.8	108
Max	18.2	510	17.6	2122	16.8	1051	16.1	1277
M	15.9	228	15.9	1015	15.4	469	14.6	398
$\pm\delta$	0.9	88	0.5	329	0.7	150	0.7	170
$v, \%$	5.6	38	3.1	32	4.5	32	4.8	43

Примечание: M – среднее значение; $\pm\delta$ – стандартное отклонение; $v, \%$ – коэффициент вариации.

Установлено, что динамика среднего за сезон количества осадков характеризовалась гораздо более высокой степенью неоднородности, чем динамика температуры атмосферного воздуха: коэффициенты вариации ($v, \%$) указанного показателя изменялись в пределах от 28 до 46% (см. табл. 1). Известно, что изменчивость принято считать незначительной при величине v менее 10%, средней, если значение v 10–20% и значительной при $v > 20\%$. При значениях $v > 40\%$ степень изменчивости (неоднородности) признака оценивается как высокая [1]. Независимо от высоты над уровнем моря, наиболее высокими коэффициентами вариации (43–46%) характеризовалась сумма осадков в период северо-восточного муссона (декабрь–февраль) (см. табл. 1). Максимальное сезонное количество осадков (2122 мм) было зафиксировано на высоте 1880 м (Нуvara Элия) в 1882 г. в период юго-западного муссона (май–сентябрь).

Таблица 2. Параметры линейной модели, характеризующие динамику средних температуры атмосферного воздуха и суммы осадков в Нагорьях Центральной Шри-Ланки
Table 2. Parameters of the linear model characterizing the dynamics of the average atmospheric air temperature and precipitation in the Central Highlands of Sri Lanka

Сезон	Температура			Осадки		
	n	r^*	b , °C/год	n	r^*	b , мм/год
Канди (1871–1982 гг.), 477 м				Канди (1866–2017 гг.)		
1) март–апрель	112	–0.12	-0.002 ± 0.002	152	0.093	0.23 ± 0.20
2) май–сентябрь	112	0.02	$2.8 \times 10^{-4} \pm 0.001$	152	–0.399	-2.2 ± 0.4
3) октябрь–ноябрь	112	–0.01	$1.5 \times 10^{-4} \pm 0.001$	152	0.034	0.13 ± 0.29
4) декабрь–февраль	112	–0.11	-0.002 ± 0.001	152	–0.063	-0.26 ± 0.34
Бадулла (1941–2017 гг.), 670 м				Бадулла (1882–2017 гг.),		
1) март–апрель	77	0.485	0.013 ± 0.003	136	0.015	0.04 ± 0.24
2) май–сентябрь	77	0.646	0.014 ± 0.002	136	–0.025	-0.08 ± 0.30
3) октябрь–ноябрь	76	0.455	0.010 ± 0.002	136	–0.006	-0.03 ± 0.39
4) декабрь–февраль	77	0.403	0.010 ± 0.002	136	–0.189	-1.30 ± 0.58
Дияталава (1901–2017 гг.), 1248 м						
1) март–апрель	106	0.616	0.009 ± 0.001	117	0.250	0.923 ± 0.333
2) май–сентябрь	106	0.716	0.011 ± 0.001	117	0.271	1.42 ± 0.47
3) октябрь–ноябрь	106	0.597	0.008 ± 0.001	117	0.190	1.38 ± 0.67
4) декабрь–февраль	106	0.612	0.009 ± 0.001	117	0.089	0.49 ± 0.51
Нуvara Элия (1867–2019 гг.), 1880 м						
1) март–апрель	149	0.701	0.014 ± 0.001	151	–0.055	-0.11 ± 0.16
2) май–сентябрь	151	0.738	$0.009 \pm 6.8 \times 10^{-4}$	152	–0.460	-3.44 ± 0.54
3) октябрь–ноябрь	148	0.400	0.007 ± 0.001	152	–0.094	-0.32 ± 0.28
4) декабрь–февраль	151	0.731	$0.011 \pm 8.7 \times 10^{-4}$	152	–0.079	-0.30 ± 0.31

Примечание: n – объем выборки; r – коэффициент корреляции; b – скорость.

* Критическое значение r на 5% уровне значимости – 0.195.

Установлено, что в период юго-западного муссона (май–сентябрь) на высоте 477 м (Канди) и 1880 м (Нуvara Элия) на протяжении периода наблюдений количество осадков линейно снижалось со скоростью -2.2 ± 0.4 и -3.44 ± 0.54 мм/год (табл. 2, рис. 3). Коэффициенты корреляции (r), характеризующие связь между суммами осадков и временем составили соответственно –0.399 и –0.460, при критическом значении r на 5% уровне значимости 0.195.

Достоверное снижение количества осадков было выявлено также в период северо-восточного муссона на высоте 670 м (Бадулла): в период 1941–2017 гг. количество осадков снижалось со скоростью -1.30 ± 0.58 мм/год ($r = -0.189$ (см. табл. 2).

Достоверная тенденция увеличения количества осадков наблюдается на высоте 1248 м (Дияталава) в период 1901–2017 гг: данный показатель возрастал со скоростью 0.92 ± 0.33 и 1.42 ± 0.47 мм/год в первый межмуссонный сезон и в период юго-западного муссона соответственно (табл. 2, рис. 4).

На основании полученных результатов можно утверждать, что наиболее существенные изменения количества осадков на территории Центрального нагорья Шри-Ланки характеризуют период юго-западного муссона (май–сентябрь).

Согласно данным [8], в Шри-Ланке наблюдаются уменьшение количества осадков и тенденции к увеличению экстремальных температур. Авторы отмечают, что по срав-

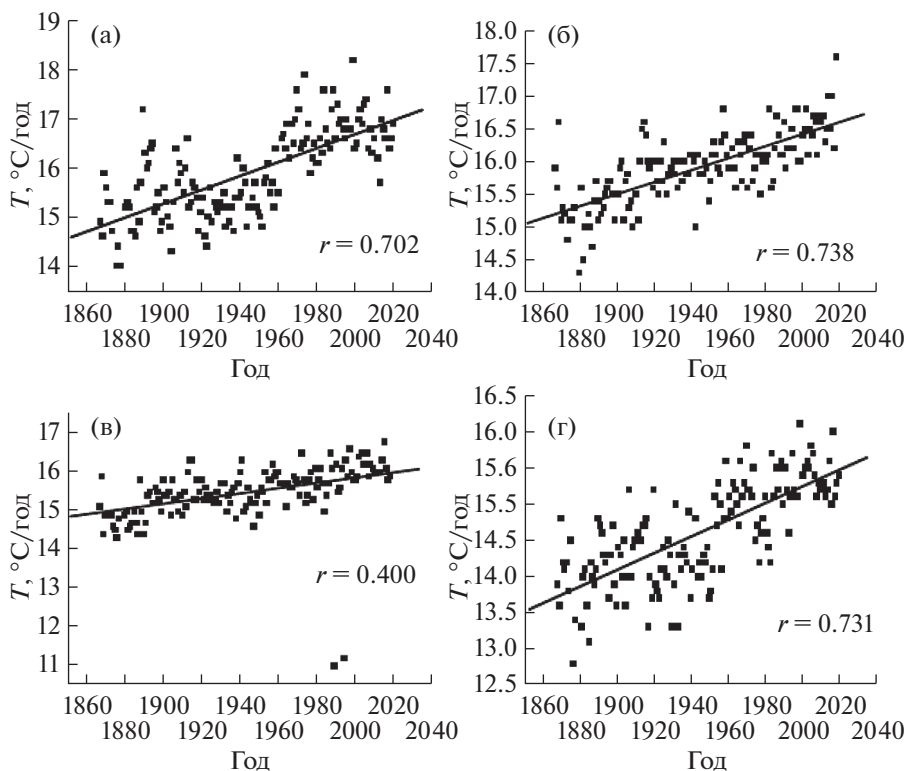


Рис. 2. Динамика средней за сезон температуры атмосферного воздуха, Нуварра Элия: а – первый межмуссонный сезон; б – юго-западный муссон; с – второй межмуссонный сезон; д – северо-восточный муссон.

Fig. 2. Dynamics of the average atmospheric air temperature to the season, Nuwara Eliya: a – the first inter-monsoon season; b – the southwestern monsoon season; c – the second inter-monsoon season; d – the northeastern monsoon season.

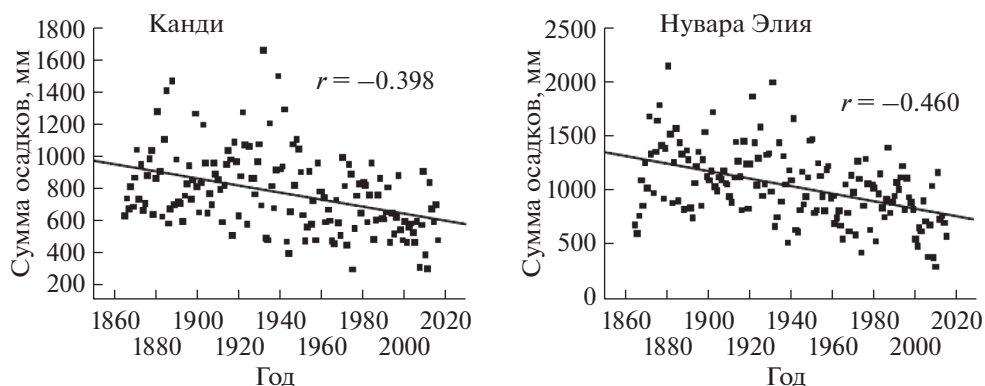


Рис. 3. Динамика суммарного количества осадков за период юго-западного муссона (май–сентябрь) на высоте 447 м (Канди) и 1880 м (Нуварра Элия).

Fig. 3. Dynamics of the precipitation amounts for the period of the southwestern monsoon (May–September) at altitude of 447 m (Kandy) and 1880 m (Nuwara Eliya).

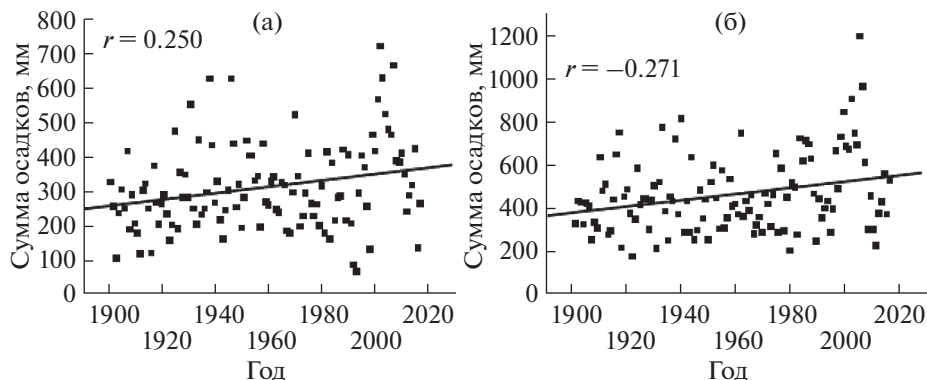


Рис. 4. Динамика суммарного количества осадков на высоте 1248 м (Дияталава) в периоды: а – первого межмуссонного сезона (март–апрель); б – юго-западного муссона (май–сентябрь).

Fig. 4. Dynamics of precipitation amounts at the altitude of 1248 m (Diyatalava) during: а – the first inter-monsoon season (March–April); б – the southwest monsoon (May–September).

нению с другими регионами, снижение количества осадков в Шри-Ланке более существенно, а наиболее серьезные последствия изменения климата коснутся сельского хозяйства, биоразнообразия, водных и прибрежных ресурсов и, как следствие, продовольственной безопасности страны.

ВЫВОДЫ

1. Значения средних сезонных температур на территории Центрального нагорья Шри-Ланки указывают на высокую степень однородности температурного режима в течение года: от 15–16°C на высоте 1880 м до 24–26°C на высоте 470 м над уровнем моря.

2. Установлено, что средняя за сезон температура атмосферного воздуха на большей части Центрального нагорья Шри-Ланки (670–1880 м над ур. м.) достоверно возрастала со скоростью 0.007–0.014°C/год, а на высоте 477 м (Канди) не имела существенных различий на протяжении всего периода наблюдений (112 лет).

3. На исследуемой территории динамика среднего за сезон количества осадков характеризовалась гораздо более высокой степенью неоднородности, чем динамика температуры атмосферного воздуха: коэффициенты вариации указанного показателя изменялись в пределах от 28 до 46%. Независимо от высоты над уровнем моря, наиболее высокими коэффициентами вариации (43–46%) характеризовалась сумма осадков в сезон северо-восточного муссона (декабрь–февраль).

4. Наиболее существенные изменения количества осадков на территории Центрального нагорья Шри-Ланки приходятся на сезон юго-западного муссона (май–сентябрь): на высотах 477 м (Канди) и 1880 м (Нуvara Элия) на протяжении периода наблюдений количество осадков линейно снижалось со скоростью -2.2 ± 0.4 и -3.44 ± 0.54 мм/год соответственно. Достоверное снижение количества осадков было выявлено также в сезон северо-восточного муссона на высоте 670 м (Бадудла): в период 1941–2017 гг. количество осадков снижалось со скоростью -1.30 ± 0.58 мм/год ($r = -0.189$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин А.Г. Обработка данных методами математической статистики. Чита: ЗИП СибУПК, 2015. 106 с.

2. *Hapu Arachchige A.P., Vitkovskaya S.E., Rambukwella C.* Мониторинг климатических изменений на территории Центрального нагорья Шри-Ланки // Дальневосточная весна – 2021: материалы 19-й Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности, Комсомольск-на-Амуре, 30–31 марта 2021 г. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО “КНАГУ”, 2021. С. 259–261.
3. *Hapu Arachchige A.P., Vitkovskaya S.E., Rambukwella C.* Динамика метеорологических показателей в Нагорьях Центральной Шри-Ланки // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 22–24 апреля 2021 г. Екатеринбург, 2021. 1 CD-ROM. С. 105–110.
4. Central Highlands of Sri Lanka// United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre) URL: <https://thesalmons.org/lynn/wh-wcmc/Sri%20Lanka%20-%20Central%20Highlands.pdf> (дата обращения 20.09.2021).
5. *De Costa W.A.J.M.* Climate change in Sri Lanka: myth or reality? Evidence from long-term meteorological data // Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka. 2008. 36 (Special Issue). P. 63–88.
6. *Hapu Arachchige A.R., Vitkovskaya S.E., Rambukwella C.* Trend analysis of climate variables in the Central Highlands of Sri Lanka // Proceedings of the International symposium Engineering ecology. Moscow, 1–3 December, 2021. P. 68–72.
7. *Jayawardena I.M.S.P., Darshika D.W.T.T. and Herath H.M.R.C.* Recent Trends in Climate Extreme Indices over Sri Lanka // American Journal of Climate Change / 2018. 7. P. 586–599.
8. *Kottawa-Arachchi J. D., Wijeratne M. A.* Climate change impacts on biodiversity and ecosystems in Sri Lanka: A review // Nature Conservation Research. Заповедная наука 2017. 2(3). P. 2–22.
9. MOE. Sri Lanka's second national communication on climate change. Sri Lanka: Ministry of Environment; Climate Change Secretariat. 2011. 160 p.
10. *Wijeratne M.A., Chandrapala L.* Analysis of rainfall and temperature in tea growing agro-ecological regions and assessment of vulnerability of tea plantations in Sri Lanka to climate change // Sri Lanka Journal of Tea Science 2013. 78(1/2). P. 42–45.
11. *Zubair L., Yahya Z., Agalawatte P., Lokuhetti R.* The El Niño event of 2015/16 in Sri Lanka Predictions, Preparedness, Communication and Impacts // NeelaHaritha: The Climate Change Magazine of Sri Lanka Inaugurate volume. 2016. P. 40–46.

Climate Change in Central Highlands of Sri Lanka (1866–2019)

S. E. Vitkovskaya^{1, 2, *} and A. R. Hapu Arachchige^{1, **}

¹*Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

²*Agrophysics Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

**E-mail: s.vitkovskaya@mail.ru*

***E-mail: rukmalayesh@gmail.com*

The article presents the results of the analysis of climate change in the Central Highlands of Sri Lanka for the long-term period of observation (1866–2021). The values of average seasonal air temperatures indicate a high degree of uniformity of the temperature regime of the tested area during the year. The coefficients of variation characterizing the temporary heterogeneity of the temperature during the observation period depend on the altitude above sea level and varied from 1.6–2.1% (477 m) to 3.1–5.6% (1880 m). It is established that the seasonal average air temperature in most part of the tested area (670–1880 m above the sea level) has been significantly increased at a rate of 0.007–0.014°C/year, but at an altitude of 477 m (Kandy) had no significant differences throughout the entire observation period (112 years). It is shown that the dynamics of the average seasonal precipitation sums was characterized by a much higher degree of heterogeneity: the coefficients of variation of this indicator varied from 28 to 46%. The most significant changes in precipitation sums in the Central Highlands of Sri Lanka relate to the southwest monsoon season (May–September). During the southwest rainy season at an altitude of 477 m (Kandy) and 1880 m (Nuwara Eliya), precipitation sums have decreased linearly at a rate of -2.2 ± 0.4 and -3.44 ± 0.54 mm/year respectively. A significant decrease in precipitation was also detected during the northeast monsoon season (December–February) at an altitude of 670 m (Badulla).

Keywords: Central Highlands of Sri Lanka, climate change, dynamics of air temperature, dynamics of precipitation

REFERENCES

1. Kalinin A.G. Obrabotka dannyh metodami matematicheskoy statistiki. Chita: ZIP SibUPK, 2015. 106 s.
2. Hapu Arachchige A.R., Vitkovskaya S.E., Rambukvella Ch. Monitoring klimaticheskix izmenenij na territorii Centra'nogo nagor'ya Shri-Lanki // Dal'nevostochnaya vesna – 2021: materialy 19-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. po problemam ekolo-gii i bezopasnosti, Komsomol'sk-na-Amure, 30–31 marta 2021 g. Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VO “KnAGU”, 2021. S. 259–261.
3. Hapu Arachchige A.R., Vitkovskaya S.E., Rambukvella Ch. Dinamika meteorologicheskix pokazatelej v Nagor'jah Central'noj Shri-Lanki// Klimaticheskie izmeneniya i sezonnaya dinamika landshaftov: materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 22–24 aprelya 2021 g. Ekaterinburg, 2021. 1 CD-ROM. S. 105–110.
4. Central Highlands of Sri Lanka // United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre) URL: <https://thesalmons.org/lynn/wh-wcmc/Sri%20Lanka%20-%20Central%20Highlands.pdf> (data obrashheniya 20.09.2021).
5. De Costa W.A.J.M. Climate change in Sri Lanka: myth or reality? Evidence from long-term meteorological data // Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka. 2008. 36 (Special Issue). P. 63–88.
6. Hapu Arachchige A.R., Vitkovskaya S.E., Rambukwella C. Trend analysis of climate variables in the Central Highlands of Sri Lanka // Proceedings of the International symposium Engineering ecology. Moscow, 1–3 December, 2021. P. 68–72.
7. Jayawardena I.M.S.P., Darshika D.W.T.T. and Herath H.M.R.C. Recent Trends in Climate Extreme Indices over Sri Lanka // American Journal of Climate Change / 2018. 7. P. 586–599.
8. Kottawa-Arachchi J.D., Wijeratne M. A. Climate change impacts on biodiversity and ecosystems in Sri Lanka: A review // Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka 2017. 2(3). P. 2–22.
9. MOE. Sri Lanka's second national communication on climate change. Sri Lanka: Ministry of Environment; Climate Change Secretariat. 2011. 160 p.
10. Wijeratne M.A., Chandrapala L. Analysis of rainfall and temperature in tea growing agro-ecological regions and assessment of vulnerability of tea plantations in Sri Lanka to climate change // Sri Lanka Journal of Tea Science 2013. 78(1/2). P. 42–45.
11. Zubair L., Yahya Z., Agalawatte P., Lokuhetti R. The El Niño event of 2015/16 in Sri Lanka Predictions, Preparedness, Communication and Impacts // NeelaHaritha: The Climate Change Magazine of Sri Lanka Inaugurate volume. 2016. P. 40–46.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАЛОГО ПОЛИМИКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА ДЛЯ ПЕРИОДА ОТКРЫТОЙ ВОДЫ

© 2022 г. Н. И. Пальшин^{а, *}, Т. В. Ефремова^{а, **}, С. Р. Богданов^{а, ***},
А. Ю. Тержевик^{а, ****}, Г. Э. Здоровеннова^{а, *****}, Р. Э. Здоровеннов^{а, *****}

^аИнститут водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: npalshin@mail.ru

**E-mail: efremova@nwp.krc.karelia.ru

***E-mail: Sergey.R.Bogdanov@mail.ru

****E-mail: ark1948@list.ru

*****E-mail: zdorovennova@gmail.com

*****E-mail: romga74@gmail.com

Поступила в редакцию 14.09.2021 г.

После доработки 03.02.2022 г.

Принята к публикации 24.02.2022 г.

Исследовано влияние погодных условий на формирование термической структуры малого полимиктического озера умеренной зоны в период открытой воды на основе анализа данных ежедневных многолетних (2007–2020 гг.) натурных измерений. Показано, что в период весенне-летнего нагревания озера Вендюрское (Карелия) с мая по первую половину августа на температуру верхнего слоя воды (горизонт ~2 м) основное воздействие оказывает синоптическая изменчивость температуры воздуха. На средних глубинах (горизонт ~6 м) влияние синоптических колебаний температуры воздуха на температуру воды существенно уменьшается, при этом возрастает роль сезонных изменений в аккумуляции тепла. В придонном слое (горизонт ~11 м) флуктуации температуры воды, главным образом, определяются эпизодами полного перемешивания озерной водной массы при прохождении циклонов, то есть зависят от усиления ветров, приводящих к полному разрушению стратификации. В период охлаждения озера со второй половины августа до установления ледяного покрова (ноябрь–декабрь), на фоне снижения роли синоптической изменчивости возрастает влияние сезонной изменчивости температуры воздуха на температуру воды. Колебания температуры воздуха объясняют более 50% дисперсии данных температуры воды эпилимниона в период весенне-летнего нагревания и всех слоев водной толщи в период осенне-зимнего охлаждения. Разработана эмпирическая модель зависимости температуры воды от синоптических и сезонных изменений температуры воздуха в период открытой воды. В модели не учитывается теплообмен с донными отложениями, т.к. в период открытой водной поверхности он на 1–2 порядка меньше величины суммарного теплообмена с атмосферой.

Ключевые слова: малое полимиктическое озеро, температура воды, термическая стратификация, температура воздуха, синоптическая изменчивость, сезонная изменчивость, климатическая изменчивость, эмпирическая модель

ВВЕДЕНИЕ

Термический режим — элемент экосистем водоемов, наиболее чувствительный к погодным и климатическим изменениям. Температура воды непосредственно влияет на протекание биохимических реакций, т.е. на гидрохимический режим и формирование биологических систем. В последние десятилетия обеспокоенность по поводу воздействия глобальных изменений климата на условия в водных экосистемах вызвала повышенный интерес к оценкам изменений температуры воды. Анализ натурных данных многолетних измерений и спутниковых наблюдений показал, что повышение поверхностной температуры воды сезонно замерзающих озер в умеренных широтах Северной Америки и Европы происходит значительно быстрее, чем в среднем в мире [14, 19]. Наибольшие темпы повышения температуры воды поверхностного слоя отмечаются в крупных глубоководных озерах, причем летом температура поверхности воды в этих озерах растет быстрее, чем температура приземного слоя воздуха [21, 23]. В глубоких озерах повышение температуры воздуха оказывает влияние на температуру воды гипolimниона преимущественно в периоды до установления и после разрушения стратификации. Ранние сроки установления термической стратификации в озерах весной обычно приводят к более низким значениям температуры воды под термоклином в летний период [12, 15]. Температура воды в эпилимнионе в озерах в первую очередь связана с погодой, а во вторую — с морфометрией озер; в гипolimнионе температура воды преимущественно связана с морфометрией и перемешиванием весной и только во вторую очередь — с погодой летом [16].

Поскольку температура воды играет большую роль в экосистеме озера, возникает необходимость надежного ее прогнозирования. За последние три десятилетия были разработаны модели термического режима озер различной степени сложности, начиная от простых моделей регрессии [16, 18] до более сложных численных одномерных [13, 15] и трехмерных моделей [11, 17, 22].

Регрессионные модели разрабатываются по результатам анализа данных длительных натурных измерений температуры воды в озерах; такие модели менее точны, чем численные, но в силу своей простоты более доступны для широкого круга исследователей [7, 10, 16]. Как правило, в регрессионных моделях температуры воды озер в качестве предиктора используется температура воздуха [10, 20], как один из главных показателей климатической и синоптической изменчивости в регионе исследований. Изменчивость погодных условий определяет направленность суммарного потока тепла на поверхности водоемов, а также развитие физических процессов в водной толще. Совместный анализ данных натурных измерений температуры воздуха и температуры воды поверхностного слоя в различных озерах в периоды их нагревания и охлаждения показывает, что величина коэффициентов связи между этими параметрами изменяется в пределах от 0.5–0.7 до 0.9–1.0 [10, 16].

Целью данной работы было исследование реакции температуры воды малого полимиктического озера умеренной зоны на сезонную и синоптическую изменчивость температуры воздуха в период открытой воды с учетом инерционности нагревания/охлаждения верхнего, среднего и придонного слоев воды, и разработка простой эмпирической модели термической структуры озера в период открытой воды, использующей в качестве предиктора температуру воздуха.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования — оз. Вендюрское — расположено в южной части Карелии (62°10'–62°20' N, 33°10'–33°20' E), в нижней части водосбора р. Суны (притока Онежского озера). Батиметрическая карта озера приведена в [3]. Площадь водосбора озера 79.8 км²; залесенность водосбора составляет 54%, заболоченность — 20%, озерность — 24%. Котловина озера ледникового происхождения. Площадь зеркала оз. Вендюрско-

го 10.1 км², длина 6.5 км, наибольшая ширина 2.9 км, объем вод 60.9 млн м³, средняя глубина 6.1, максимальная 12.1 м [6]. В озеро впадает р. Риндозерка и два ручья, период его условного водообмена составляет 2.5 года. По химическому составу воды озеро относится к гидрокарбонатному классу группы кальция (минерализация 19.4 мг/л); озеро мезотрофное, олигогумусное [6]. Глубина прозрачности по диску Секки достигает 3 м, коэффициент экстинкции составляет 1.0–1.2 м⁻¹. На берегу оз. Вендюрского расположена дер. Вендеры. Озеро используется в рекреационных целях и для любительского рыболовства, а в 2011 г. на его акватории были установлены садки для выращивания форели.

Начиная с 1994 г., в рамках различных научных программ ИВПС КарНЦ РАН проводились регулярные исследования озера Вендюрского с целью изучения гидрофизических процессов и их влияния на озерную экосистему. До 2007 г. основное внимание уделялось формированию зимнего термического и кислородного режимов озера.

С появлением в 2007 г. в лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН современных автономных приборов, появилась возможность проводить детальные комплексные исследования термической структуры озера в годовом цикле. В период с июля 2007 г. по октябрь 2020 г. в центральной глубоководной части озера Вендюрского проводились измерения температуры воды на автономной буйковой станции – термокосе, которая была оснащена высокочувствительными датчиками температуры (RBR Ltd, точность по температуре 0.002°C). Термодатчики были распределены через 0.5–1.5 м в водной толще и через 2–25 см в придонном слое, дискретность измерений по времени составляла одну минуту.

Анализ данных 1994–2020 гг. показал, что ледовый покров на озере устанавливается в ноябре–декабре при средней температуре столба воды в центральной глубоководной части озера 0.1–1.5°C, очищение ото льда обычно происходит в первой-второй декадах мая, а температура водной толщи в результате теплообмена с донными отложениями и весеннего подледного нагревания и конвективного перемешивания достигает 3.5–4.5°C к концу ледостава. Измерения 2007–2020 гг. позволили установить, что после освобождения ото льда водная толща озера полностью перемешивается и в течение мая нагревается; при этом периоды установления слабой стратификации сменяются эпизодами полного перемешивания. В целом в период весенне-летнего нагревания термическая стратификация в оз. Вендюрском неустойчива, что характерно для малых неглубоких водоемов умеренной зоны. Стратификация усиливается в течение июня и июля, и наибольший прогрев верхнего слоя озера (эпилимниона), как правило, наблюдается во второй половине июля – первой декаде августа. По среднемноголетним данным температура верхнего слоя воды (эпилимниона) оз. Вендюрского в этот период почти в 1.5 раза выше, чем температура придонного слоя на глубинах более 10 м (гиполимниона). Температура воды придонных слоев глубоководных котловин постепенно повышается в течение мая-июля, обычно достигая максимальных значений в августе при разрушении сезонного термоклина. Этап осеннего перемешивания начинается в середине-конце августа и продолжается до конца октября, при этом водная толща охлаждается в состоянии гомотермии, изредка переходя в состояние слабой стратификации на фоне кратковременных повышений температуры воздуха и ослабления ветровой нагрузки.

Таким образом, за годы измерений накоплен большой объем натурных данных, достаточный для разработки эмпирической модели температуры воды в озере в период открытой воды. В модели не учитывается теплообмен с донными отложениями, т.к. в период открытой водной поверхности он на 1–2 порядка меньше величины суммарного теплообмена с атмосферой [3].

Данные по температуре воздуха и ветру за 2007–2020 гг. по метеостанции (МС) Петрозаводск (расстояние от оз. Вендюрского 70 км) были получены на сайте “Расписание погоды” [8]. Для характеристики изменчивости регионального климата южной

Карелии использовались данные по температуре воздуха, полученные на сайте Мирового центра данных [2].

Для оценки климатической изменчивости температуры воздуха в регионе исследований за последние 70 лет были проанализированы тренды температуры воздуха в 1950–2020 гг. для каждого месяца года. Статистическая значимость трендов оценивалась по критерию Стьюдента и непараметрическому тесту Манна–Кендалла. Данные обрабатывались с использованием пакетов Excel и Statistica. Для периода с мая по ноябрь в 1961–1990 гг. (климатическая норма) и в 1991–2020 гг. вычислены среднесуточные значения температуры воздуха. Рассчитаны отклонения среднемесячной температуры воздуха от климатической нормы 1961–1990 гг. для месяцев с мая по ноябрь в 1991–2020 гг., а также дополнительно в относительно прохладный сезон открытой воды 2008 г. и аномально теплый сезон открытой воды 2010 г.

Выполнен спектральный анализ методом простого преобразования Фурье рядов температуры воздуха по МС Петрозаводск и рядов температуры воды оз. Вендюрского в верхнем (2 м), среднем (6 м) и придонном (11 м) горизонтах. Данные по температуре воздуха за период с мая по ноябрь по каждому году, начиная с 2007 г. и заканчивая 2020 г., объединялись в один непрерывный ряд, который затем анализировался. Такая же процедура была проделана с данными по температуре воды для выбранных горизонтов измерений термокосы (2, 6, 11 м). Дискретность рядов температуры воздуха составляла 3 часа (восьмисрочные наблюдения на МС); исходные минутные данные измерений температуры воды были осреднены по три часа для того, чтобы ряды данных температуры воздуха и воды были соизмеримы. При проведении спектрального анализа сезонный ход температуры воздуха и воды не устранялся.

Связь между температурой воды на горизонте z на конкретную дату измерений d и температурой воздуха за каждые сутки предшествующего месяца можно представить в виде:

$$T_{wz} = \sum_{d=30} q_d T_{ad}, \quad (1)$$

где T_{wz} и T_{ad} — температура воды на горизонте на конкретную дату и температура воздуха в разные дни предшествующего месячного периода, q_d — весовой коэффициент влияния температуры воздуха каждых отдельных суток предшествующего месяца; значения этого коэффициента, вероятно, должны возрастать по мере приближения к дате наблюдения температуры воды.

Для упрощения вычислений использовалась двухполосная модель, отражающая инерцию в нагревании/охлаждении слоев воды под воздействием относительно быстрой смены синоптических погодных условий, а также аккумуляцию/потерю тепла в водной толще за длительный период в результате внутрисезонных межгодовых колебаний погоды:

$$T_{z,d} = \bar{T}_{z,d} + \Delta T_{z,d}, \quad (2)$$

$$\Delta T_{z,d} = a_z + b_z \Delta T_{a,i} + c_z \Delta T_{a,j}, \quad (3)$$

где $\bar{T}_{z,d}$ и $\Delta T_{z,d}$ — среднемноголетняя температура воды на горизонте z на текущую дату d и отклонения от нее измеренных значений; $\Delta T_{a,i}$ и $\Delta T_{a,j}$ — отклонения температуры воздуха на текущую дату от среднемноголетних значений ($\bar{T}_{ai}$ и $\bar{T}_{aj}$), обусловленные сезонной (индекс — i) и синоптической (индекс — j) изменчивостью; a_z , b_z и c_z — эмпирические параметры на горизонте z .

Модельные кривые усредненных многолетних циклов температуры воздуха и температуры воды на трех горизонтах водной толщи (2, 6 и 11 м) оз. Вендюрского за многолетний период (2007–2019 гг.) были получены в результате аппроксимации натуральных данных полиномами шестой степени. Временные ряды температуры воздуха

предварительно сглаживались фильтрами скользящего среднего по разным периодам усреднения (3 и 27 суток, 5 и 25 суток) за месяц, предшествующий измерениям температуры воды. Вычитание усредненных многолетних данных из измеренных значений на каждую дату позволило получить данные по отклонениям для температуры воздуха и воды за все годы наблюдений. В результате множественного регрессионного анализа отклонений температуры воды и воздуха были подобраны (в соответствии с максимальными коэффициентами детерминации) необходимые периоды усреднения для температуры воздуха, которые отражали бы сезонную (6–30 предшествующие сутки от даты измерений температуры воды) и синоптическую (1–5 предшествующие сутки) изменчивость. Измерения температуры воды в оз. Вендюрском в 2020 г. не входили в выборку для разработки эмпирической модели, а были использованы для верификации модельных расчетов.

В фазах роста и понижения температуры воды интегральные потоки тепла на поверхности озера отличаются: в условиях нагревания воды происходит усиление плотностной стратификации, а при осеннем охлаждении интенсифицируется свободная конвекция, т.е. доминирующие механизмы перемешивания водной толщи различаются, поэтому регрессионные уравнения получены отдельно для этапов весеннего нагревания и осеннего охлаждения. Для этапа осеннего охлаждения, когда водная толща озера находилась в состоянии гомотермии, данные по температуре воды на разных горизонтах объединялись в одну выборку.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным МС Петрозаводск за период 1950–2020 гг. установлены значимые положительные линейные тренды температуры воздуха ($p < 0.05$) для января–мая и июля–сентября. В июне и октябре–декабре температура воздуха также повышалась, но тренды были статистически не значимы. Скорость повышения температуры воздуха в рассмотренный период была наибольшей в январе–марте и достигала $0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$. В мае и декабре температура повышалась в среднем на $0.04^{\circ}\text{C}/\text{год}$, в июле, сентябре и ноябре — на $0.03^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Меньшая скорость повышения температуры наблюдалась в апреле и августе — $0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в июне и октябре не превышала $0.01^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

На рис. 1а приведены среднесуточные значения температуры воздуха по МС Петрозаводск за периоды 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. соответственно. Также показаны значения температуры воздуха в аномально жаркий 2010 г. и относительно прохладный 2008 г. Положительные отклонения средних температур воздуха (рис. 1б) за все месяцы в 1991–2020 гг. от климатической нормы указывают на потепление регионального климата.

В результате спектрального анализа временных рядов установлены преобладающие периоды колебаний температуры воздуха и воды (рис. 2б); доверительные интервалы с вероятностью 0.95 и 0.05 составляли 0.48 и 1.66 от значений пиков в дискретных энергонесущих зонах. Совпадающие в низкочастотной области колебания температуры воздуха и воды с периодами 6.5 и 2.2 года характеризуют межгодовую изменчивость. В сезонных флуктуациях установлены близкие по энергии колебания для температуры воздуха и воды с периодами: 79–82, 53–62, 37–43, 30–33, 21, 10, 7–8, 3.5 и 1 сутки (рис. 2б).

Периодичности колебаний температуры воздуха и воды близки, но на энергии колебаний температуры воды сказывается инерция в нагревании/охлаждении, что приводит к уменьшению их спектральной плотности мощности по сравнению с температурой воздуха. Особенно это заметно для колебаний температуры воды с периодами меньше одного месяца, для которых спектральная плотность мощности постепенно уменьшается и отличается от температуры воздуха на один-полтора порядка, а для колебаний с периодом синоптической изменчивости (3–7 суток) — почти на два порядка

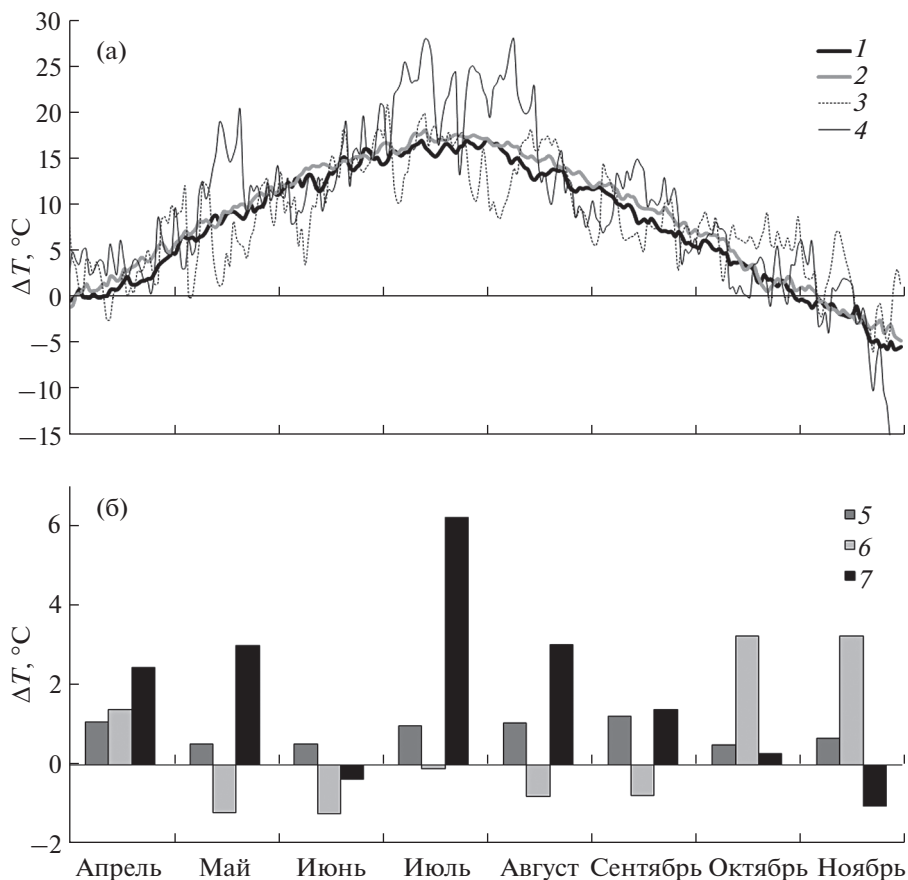


Рис. 1. а – Среднесуточные значения температуры воздуха по метеостанции Петрозаводск в апреле–ноябре: 1 – 1961–1990 гг., 2 – 1991–2020 гг., 3 – 2008 г., 4 – 2010 г.; б – Отклонения среднемесячной температуры воздуха в 1991–2020 гг. (5), 2008 г. (6) и 2010 г. (7) от климатической нормы 1961–1990 гг.

Fig. 1. а – Average daily air temperatures at the Petrozavodsk meteorological station in April–November: 1 – 1961–1990, 2 – 1991–2020, 3 – 2008, 4 – 2010; б – Deviations of the average monthly air temperature in 1990–2020 (5), 2008 (6), and 2010 (7) from the baseline 1961–1990.

(колебания температуры воздуха на 10°C приводят к изменениям температуры воды на 1°C).

Существенный вклад в дисперсию данных вносят также суточные колебания — как для температуры воздуха, так и для температуры воды, включая придонный слой, но по спектральной плотности мощности они отличаются почти на три порядка: колебания температуры воздуха на 10°C приводят к изменениям температуры воды на 0.3°C . Визуальное сравнение колебаний температуры воздуха и воды на глубине 2 м за периоды открытой водной поверхности в мае–ноябре 2007–2020 гг. показано на рис. 2а.

Изменчивость температуры воздуха и воды на трех горизонтах в оз. Вендюрском с мая по ноябрь в 2007–2019 гг., а также аппроксимация данных полиномами шестой степени приведены на рис. 3. На рисунке хорошо видны отклонения измеренных значений в разные годы от усредненных циклов. Наибольший разброс данных на стадии нагревания озера с мая по первую декаду августа соответствует температуре воздуха,

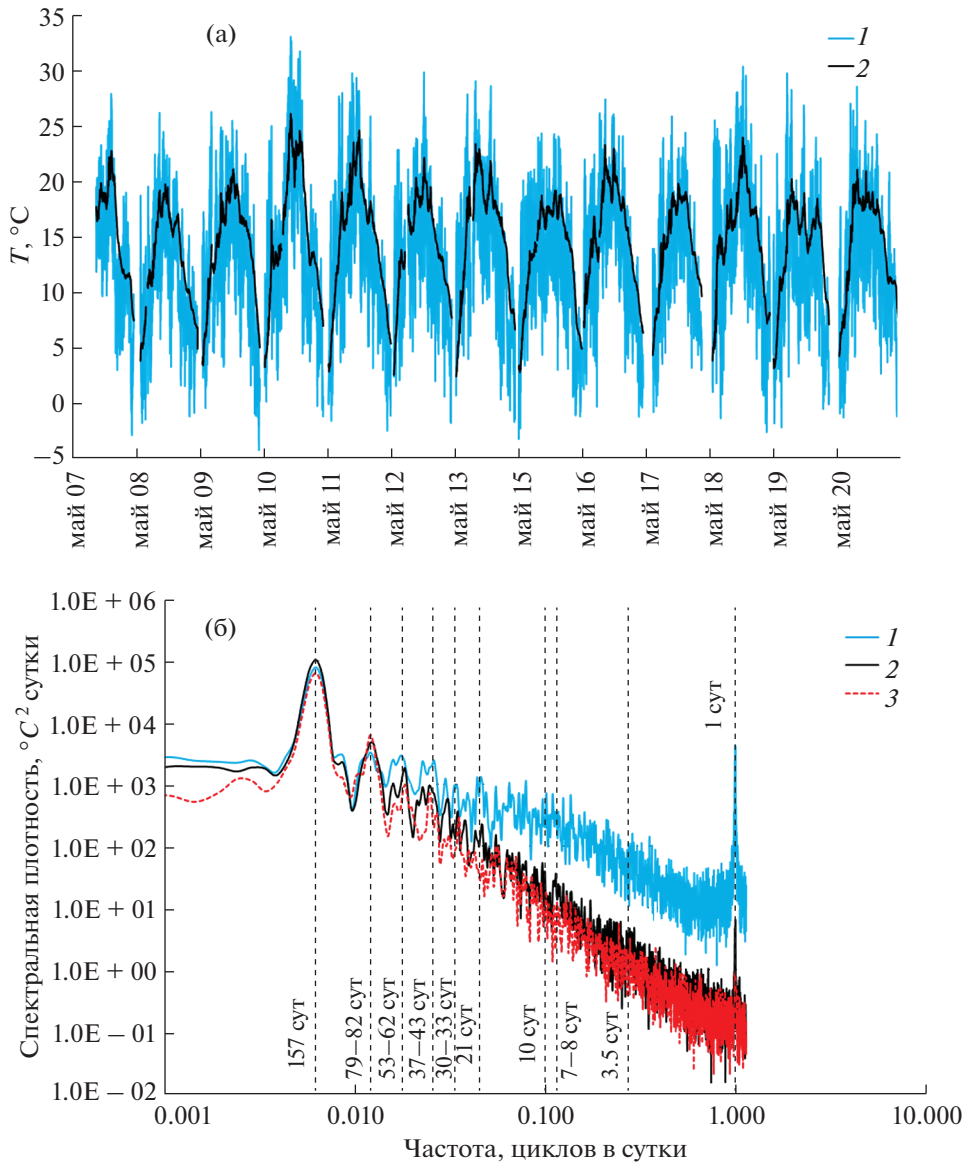


Рис. 2. а – Температура воздуха по метеостанции Петрозаводск (1) и температура воды в оз. Вендюрском на глубине 2 м (2) в мае–ноябре 2007–2020 гг.; б – спектры температуры воздуха (1) и температуры воды на глубинах 2 м (2) и 11 м (3) за период открытой воды в 2007–2020 гг.

Fig. 2. а – Air temperature according to MS Petrozavodsk (1) and water temperature in Lake Vendyurskoe at a depth of 2 m (2) in May – November 2007–2020; б – spectra of air temperature (1) and water temperature at a depth of 2 m (2) and 11 m (3) for the open water period in 2007–2020.

осредненной за 5 суток (рис. 3а; стандартное отклонение температуры от модельных кривых 3.1°C , наибольшее $\pm 9^{\circ}\text{C}$), и среднесуточной температуре воды на верхнем горизонте (рис. 3б, стандартное отклонение 2.08°C , наибольшее $\pm 6^{\circ}\text{C}$). На горизонтах

Таблица 1. Периоды и горизонты (z) измерений температуры воды, и параметры регрессионной модели в периоды нагревания и охлаждения оз. Вендюрского: количество измерений (N_z), коэффициент корреляции (R_z), стандартная ошибка ($\pm \Delta T_z$, °C), свободный член (a_z , °C) и регрессионные коэффициенты сезонной (b_z) и синоптической изменчивости (c_z)

Table 1. Periods and depths (z) of water temperature measurements, and parameters of the regression model during periods of heating and cooling of the Lake Vendyurskoe: number of measurements (N_z), correlation coefficient (R_z), standard error ($\pm \Delta T_z$, °C), free term (a_z , °C) and regression coefficients of seasonal (b_z) and synoptic variability (c_z)

Период измерений, фаза	z , м	N_z	Вариант 1				Вариант 2				
			R_z	ΔT_z	a_z	b_z	R_z	ΔT_z	a_z	b_z	c_z
2 мая—15 августа, нагревание	2	1121	0.790	1.30	−0.029	0.864	0.908	0.89	−0.041	0.417	0.456
2 мая—19 августа, нагревание	6	1157	0.657	1.01	0.009	0.455	0.660	1.01	0.009	0.354	0.103
2 мая—22 августа, нагревание	11	1205	0.261	1.24	0.030	0.173	0.262	1.24	0.030	0.151	0.021
16 августа—10 декабря, охлаждение	2, 6, 11	3343	0.722	0.79	0.012	0.627	0.834	0.63	0.044	0.426	0.292

6 м и 11 м разброс данных в этот период не превышает $\pm 4^\circ\text{C}$, стандартные отклонения 1.33 и 1.31°C (рис. 3в, 3г). В период осеннего охлаждения озера в разные годы отклонения температуры воды от усредненных годовых циклов для всех горизонтов водной толщи не превышали $\pm 3^\circ\text{C}$, а стандартные отклонения составляли от 1.12 до 1.18°C .

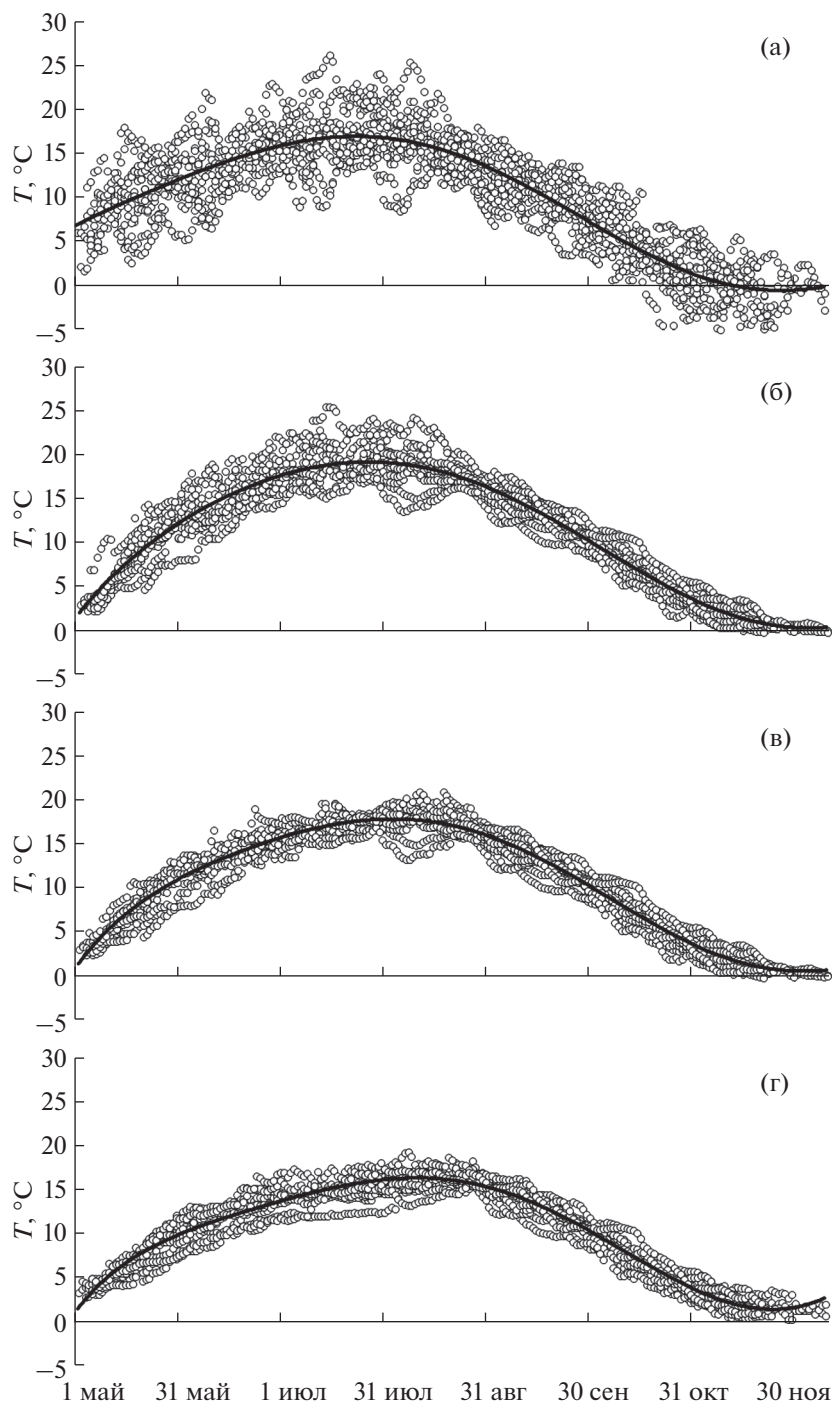
Отклонения температуры воздуха и воды от среднемноголетних циклов на стадиях нагревания и охлаждения озера существенно различаются (рис. 3); в связи с этим целесообразно полугодовые циклы температуры воздуха и воды разделить на две фазы: нагревания и охлаждения.

Для каждого из этих периодов регрессионный анализ данных был выполнен методом наименьших квадратов в двух вариантах (табл.): вариант 1 — с учетом сезонной изменчивости температуры воздуха, усредненной за 30 суток предшествующего периода; вариант 2 — с учетом сезонной и синоптической изменчивости температуры воздуха. При этом предшествующий месяц был разделен на два временных интервала: 6—30 суток и 1—5 суток от даты измерения температуры воды.

Сравнение коэффициентов корреляции и стандартных ошибок показало, что второй вариант расчета с учетом синоптической изменчивости предпочтительнее для верхнего горизонта (2 м) в период нагревания озера и для всего водного столба в период осеннего охлаждения. Стандартные ошибки в модельных расчетах обусловлены, главным образом, неучтенными эффектами в изменчивости интегрального потока тепла на границе воздух-вода с периодом ≤ 1 суток, а также эффекта ветрового перемешивания слоев воды. Для учета колебаний температуры воды с периодом меньше суток необходимо принимать во внимание изменчивость солнечной радиации, длинноволно-

Рис. 3. Температура воздуха по метеостанции Петрозаводск, осредненная за 5 суток, предшествующих дате измерений температуры воды (а, $R^2 = 0.797$), и среднесуточная температура воды в оз. Вендюрском на глубинах 2 м (б, $R^2 = 0.922$), 6 м (в, $R^2 = 0.950$) и 11 м (г, $R^2 = 0.937$) в период с мая по ноябрь в 2007–2019 гг. Сплошные линии — полиномиальная аппроксимация.

Fig. 3. Air temperature at the Petrozavodsk meteorological station, averaged over 5 days preceding the date of water temperature measurements (a, $R^2 = 0.797$), and the daily averaged water temperature in the Lake Vendyurskoe at depths of 2 m (б, $R^2 = 0.922$), 6 m (в, $R^2 = 0.950$) and 11 m (г, $R^2 = 0.937$) from May to November in 2007–2019. Solid lines mark polynomial approximation.



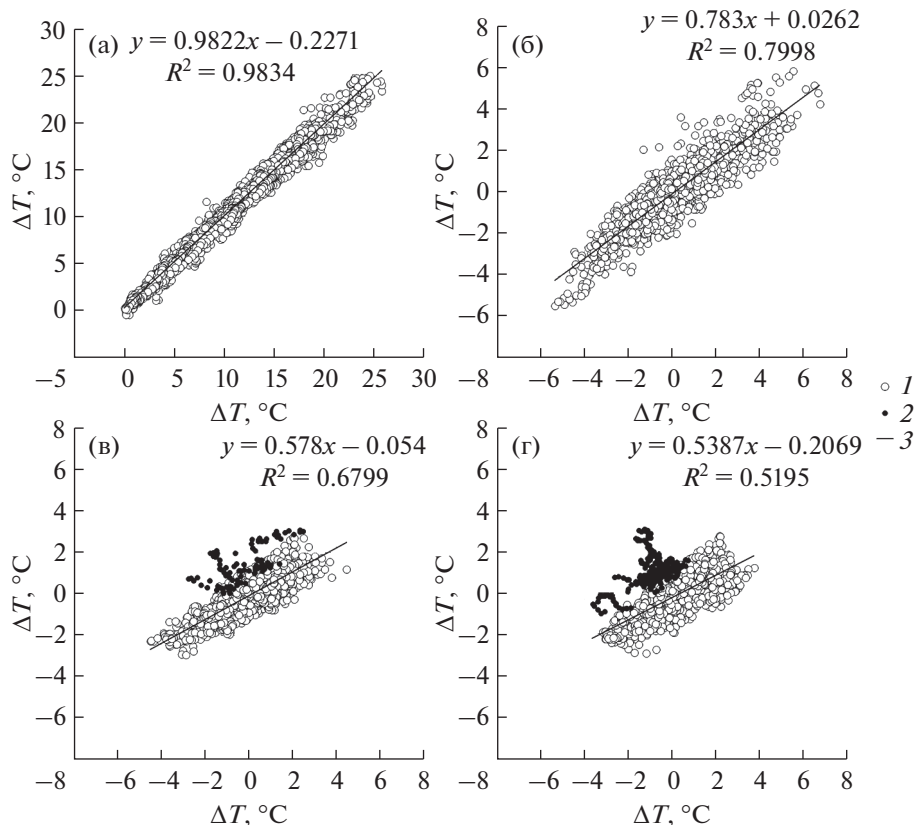


Рис. 4. а – отношение измеренной температуры воды на глубине 2 м в 2007–2019 гг. в период мая по ноябрь (ось ОХ) к рассчитанной по модели (ось ОУ), отношение отклонений температуры воды, измеренной (ось ОХ) и рассчитанной по модели (ось ОУ) на глубинах 2 м (б), 6 м (в) и 11 м (г) от значений, осредненных за период 2007–2019 гг.: 1 – водная толща перемешана, 2 – стратификация, 3 – линия тренда.

Fig. 4. а – ratio of the measured water temperature at a depth of 2 m in 2007–2019 from May to November (OX axis) to the model calculations (OY axis), the ratio of deviations of water temperature measured (OX axis) and modelled (OY axis) at depths of 2 m (б), 6 m (в), and 11 m (г) from the values averaged over the period 2007–2019: 1 – the water column is mixed, 2 – stratification, 3 – trend line.

вой радиации, чувствительного и скрытого потоков тепла на поверхности воды, что существенно усложнило бы модель для применения ее в прогностических целях.

При формировании стратификации в весенне-летний период синоптическая изменчивость оказывает существенно меньшее влияние на нагревание слоев воды ниже термоклина. Во втором варианте расчетов, в соответствии с установленными численными значениями регрессионных коэффициентов b_z и c_z на горизонтах 6 и 11 м, преобладают сравнительно медленные изменения температуры воды, обусловленные аккумуляцией тепла в результате внутрисезонной изменчивости.

Диаграммы сравнения измеренных и рассчитанных по второму варианту модели значений температуры воды (горизонт 2 м) и отклонений температуры воды на трех горизонтах (2, 6, 11 м) от значений, усредненных за период 2007–2019 гг., приведены на рис. 4.

Для верхнего слоя (горизонт 2 м) регрессионная модель достаточно хорошо описывает изменения температуры воды. При уменьшении интенсивности ветрового перемешивания в период весенне-летнего нагревания температура воды в верхнем слое увеличивается даже с несколько большей скоростью, чем при средних условиях, а на горизонтах 6 и 11 м рост температуры воды подавляется усилением плотностной стратификации, которая оказывает влияние на перемешивание. На рис. 4в, 4г точки, относящиеся к маловетренным периодам и выпадающие из общей закономерности, которую описывает регрессионная модель, окрашены в черный цвет.

Верификация модельных расчетов по данным измерений 2020 г. (рис. 5) показала удовлетворительное соответствие наблюдаемых и рассчитанных значений температуры воды почти на протяжении всего периода с 9 мая по 20 октября, за исключением периода с середины июня до второй декады июля, когда наблюдались маловетренные условия с усилением термической стратификации в озере. Расчеты для этого периода на стохастической модели, которая ориентирована на средние, наиболее типичные условия ветровой нагрузки, показали заниженные значения для горизонта 2 м по сравнению с натурными данными. Для горизонта 6 м измеренные и рассчитанные значения температуры воды были близкими, но для горизонта 11 м различия достигали 3°C, что в два раза превышает среднеквадратическое отклонение.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обнаруженные нами тенденции изменения температуры воздуха в 1950–2020 гг. в разные месяцы года по метеостанции Петрозаводск совпадают с ранее показанными трендами для различных метеостанций Карелии за период 1953–2011 гг. [5] и северо-запада России за период с 1990 г. до 2020 г. [9]. Положительные тренды температуры воздуха в Карелии соответствуют глобальным изменениям погоды в Европейской части России, для которой выделен период ускоренного роста температуры приземного воздуха с 1976 г. [4].

Спектральный анализ рядов температуры воздуха по метеостанции Петрозаводск и температуры воды в оз. Вендюрском с мая по ноябрь в 2007–2020 гг. позволил выделить колебания с близкими периодами, характеризующими межгодовую (6 лет и 2.2 года), сезонную и синоптическую изменчивость (от 1 до 82 суток). Колебания температуры воды с периодами от двух до шести лет, обнаруженные в озерах Карелии [5], соответствовали изменчивости индекса североатлантического колебания (NAO) за летний сезон, что может свидетельствовать о том, что формирование термического режима озер Карелии находится под активным влиянием Северной Атлантики. Обнаруженный двухлетний цикл температуры воды в оз. Вендюрском может быть обусловлен “квазидвухлетней цикличностью”, которая вносит наибольший вклад в дисперсию межгодовых колебаний температуры воздуха над западными территориями России (по данным 1886–1999 гг.); эту цикличность М.Ю. Бардин связывал с колебаниями погодных условий в направлении “запад–восток” [1].

Мы использовали температуру воздуха в качестве предиктора в эмпирической модели температуры воды оз. Вендюрского и показали, что отклонения температуры воздуха в разные годы объясняют более 50% дисперсии данных температуры воды в период охлаждения и температуры воды эпилимниона в период нагревания. Полуэмпирическая модель, представленная в работе [20], также хорошо оценивает температуру воды перемешанного поверхностного слоя разнотипных озер в зависимости только от температуры воздуха. В эмпирической модели для озера Мендота [16] получены регрессионные уравнения, связывающие температуру воды эпилимниона и гипolimниона со среднемесячной, максимальной и минимальной за месяц температурами воздуха, а также с другими метеорологическими параметрами: среднемесячной облачностью, скоростью ветра, максимальной суточной скоростью ветра. Авторы этой работы

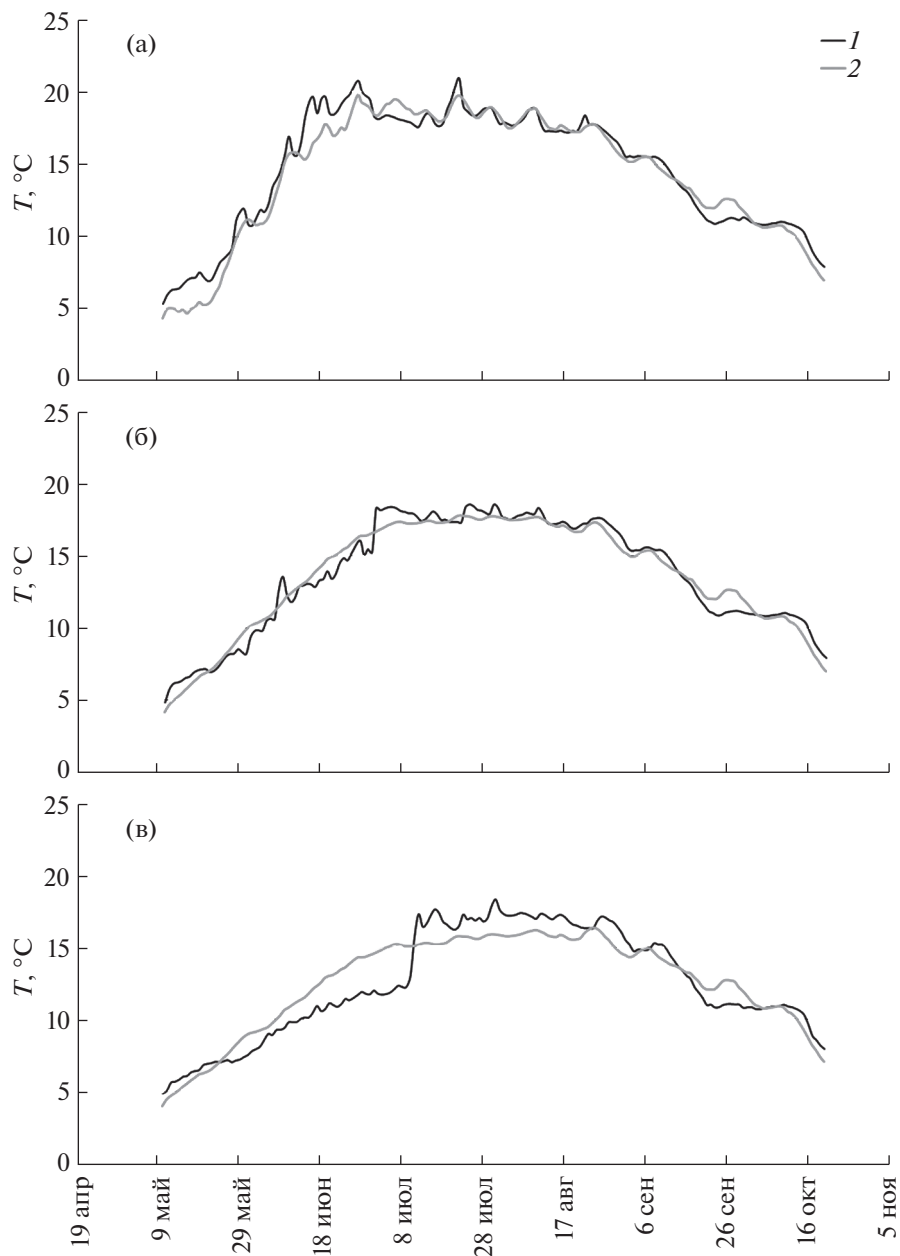


Рис. 5. Температура воды на глубинах 2 (а), 6 (б) и 11 м (в) в озере Вендюрском в мае-октябре 2020 г.: 1 – измеренные значения, 2 – рассчитанные по модели.

Fig. 5. Water temperature at depths of 2 (a), 6 (б) and 11 m (в) in Lake Vendyurskoe in May-October 2020: 1 – field data, 2 – model data.

показывают, что основное влияние на температуру эпилимниона оказывает среднемесячная температура воздуха за предшествующий месяц; зависимость температуры воды от среднемесячной скорости ветра проявляется лишь для гипolimниона весной

при неустойчивой стратификации, а от максимальной суточной скорости ветра для эпилимниона — в июне, что вызвано заглублением термоклина в периоды усиления ветров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа данных по метеостанции Петрозаводск за 70-летний период (1950–2020 гг.) установлены значимые положительные тренды и получены оценки скоростей роста температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) для разных месяцев теплой половины года: май — 0.38, июль — 0.31, август — 0.19, сентябрь — 0.29, ноябрь — 0.28. В июне и октябре линейные тренды незначимы. Потепление климата также показано в результате сравнения месячных значений температуры воздуха за два тридцатилетних периода: 1961–1990 и 1991–2020 гг.

В результате статистического анализа ежедневных многолетних натурных измерений температуры воды (2007–2020 гг.) в оз. Вендюрском исследовано влияние изменчивости температуры воздуха на формирование его термической структуры. Отклонения температуры воздуха в разные годы объясняют более 50% дисперсии данных температуры воды всего водного столба в период охлаждения и эпилимниона в период нагревания. При повышении среднемесячных значений температуры воздуха в мае–августе на 1°C температура воды в верхнем слое (горизонт 2 м) увеличивается на 0.86°C , на глубине 6 м на 0.46°C , а у дна (11 м) только на 0.17°C . В период осеннего охлаждения (вторая половина августа–ноябрь) температура воды в перемешанном слое изменяется на 0.63°C на каждый градус изменения температуры воздуха.

В период нагревания озера с мая по август на температуру верхнего слоя воды большое влияние оказывает синоптическая изменчивость температуры воздуха, которая объясняет более 50% изменчивости температуры воды. На глубинах ниже термоклина (6 м) влияние синоптических колебаний температуры воздуха существенно уменьшается, а рост температуры воды происходит, главным образом, за счет аккумуляции тепла в результате сезонной изменчивости температуры воздуха. При осеннем охлаждении озера колебания температуры воды в перемешанном слое зависят как от синоптической, так и сезонной изменчивости температуры воздуха почти в равных долях.

В результате многолетних гидрохимических и гидробиологических исследований на оз. Вендюрском накоплены натурные данные, которые можно использовать для детального анализа. Разработанная эмпирическая модель позволяет реконструировать годовые циклы температуры воды для тех лет, по которым отсутствуют наблюдения за температурой воды. Предложенная модель может стать полезной для оценки влияния изменения климата на экосистему озера.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр Российской академии наук”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардин М.Ю. Изменчивость температуры воздуха над западными территориями России и сопредельными странами в XX веке // Метеорология и гидрология. 2002. № 8. С. 5–23.
2. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (Дата обращения 10 сентября 2021 г.).
3. Гавриленко Г.Г., Здорovenнова Г.Э., Здорovenнов Р.Э., Пальшин Н.И., Митрохов А.В., Тержевик А.Ю. Теплоток на границе вода-донные отложения в небольшом озере // Труды КарНЦ РАН. № 9. Сер. Лимнология. 2015. С. 3–9.
<https://doi.org/10.17076/lim72>

4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
5. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Белашев Б.З. Температура воды разнотипных озер Карелии в условиях изменения климата (по данным инструментальных измерений 1953–2011 гг.) // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 2. С. 228–238.
6. Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
7. Пальшин Н.И., Ефремова Т.В. Стохастическая модель годового хода температуры поверхности воды в озерах // Метеорология и гидрология. 2005. № 3. С.85–94.
8. Расписание погоды. URL: <http://rp5.ru>. (Дата обращения 10 сентября 2021 г.)
9. Резников А.И., Исаченко Г.А. Изменение климатических характеристик западной части тайги Европейской России в конце XX-начале XXI вв. // Известия РГО. 2021. Т. 153. № 1. С. 3–18. <https://doi.org/10.31857/S0869607121010055>
10. Kuusisto E. Suomen Vestöjen Lämpötilat Kaudella 1961–1975. Water temperature of lakes and rivers in Finland in the period 1961–1975. Vesihallitus – National board of waters, Finland, Helsinki, 1981. 40 p.
11. Liu W., Bocaniov S.A., Lamb K.G., Smith R.E.H. Three-dimensional modeling of the effects of changes in meteorological forcing on the thermal structure of Lake Erie // J. Great Lakes Research. 2014. 40, 4. P. 827–840. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.08.002>
12. Mammarella I., Gavrylenko G., Zdrovennova G., Ojala A., Erkkilä K.-M., Zdrovennov R., Stepanyuk O., Palshin N., Terzhevik A., Vesala T., Heiskanen J. Effects of similar weather patterns on the thermal stratification, mixing regimes and hypolimnetic oxygen depletion in two boreal lakes with different water transparency // Boreal Env. Res. 2018, 23. P. 237–247.
13. Mironov D.V. Parameterization of lakes in numerical weather prediction. Description of a lake model // COSMO Technical Report. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany. 11. 2008. 41 p.
14. O'Reilly C. M., et al. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe // Geophysical Research Letters. 2015. 42, 24. 10773–10781. <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>
15. Perroud M., Goyette S., Martynov A., Beniston M., Anneville O. Simulation of multiannual thermal profiles in deep Lake Geneva: a comparison of one-dimensional lake models // Limnol. Oceanogr. 2009. 54, 5. P. 1574–1594.
16. Robertson D.M., Ragotzkie R.A. Changes in thermal structure of moderate to large sizes lakes in response to change in air temperature // Aquatic Sciences. 1990. 52, 3. P. 360–380.
17. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observations and Modeling. Springer, 2010. 308 p.
18. Sharma S., Walker S.C., Jackson D.A. Empirical modeling of lake water-temperature relationships: a comparison of approaches // Freshwater Biol. 2008. № 53. P. 897–911.
19. Schneider P., Hook S.J. Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985 // Geophys. Res. Lett. 2010. 37, 22. P. 1–5. L22405, <https://doi.org/10.1029/2010GL045059>
20. Toffolon M., Piccolroaz S., Majone B., Soja A.-M., Peeters F., Schmid M., Wüest A. Prediction of surface temperature in lakes with different morphology using air temperature // Limnol. Oceanogr. 2014. 59(6). P. 2185–2202. <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.6.2185>
21. Woolway R.I., Merchant C.J. Intralake heterogeneity of thermal responses to climate change: A study of large Northern Hemisphere lakes // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. 123. P. 3087–3098. doi.org/. <https://doi.org/10.1002/2017JD027661>
22. Xue P., Pal J.S., Ye X., Lenters J.D., Huang C., Chu P.Y. Improving the Simulation of Large Lakes in Regional Climate Modeling: Two-Way Lake–Atmosphere Coupling with a 3D Hydrodynamic Model of the Great Lakes // Journal of Climate. 2017. 30, 5. P. 1605–1627. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0225.1>
23. Zhong Y., Notaro M., Vavrus S.J., Foster M.J. Recent accelerated warming of the Laurentian Great Lakes: Physical drivers // Limnol. Oceanogr. 2016. 61, 5. P. 1762–1786. doi.org/ <https://doi.org/10.1002/lno.10331>

Empirical Model of the Thermal Structure of a Small Polymictic Lake for Open Water Period

N. I. Palshin^{1, *}, T. V. Efremova^{1, **}, S. R. Bogdanov^{1, *}, A. Yu. Terzhevik^{1, ****},
G. E. Zdorovenova^{1, *****} and R. E. Zdorovenov^{1, *****}**

¹*Northern water problems Institute Karelian Research Center of RAS, Petrozavodsk, Russia*

**E-mail: npalshin@mail.ru*

***E-mail: efremova@nwpi.krc.karelia.ru*

****E-mail: Sergey.R.Bogdanov@mail.ru*

*****E-mail: ark1948@list.ru*

******E-mail: zdorovenova@gmail.com*

******E-mail: romga74@gmail.com*

The influence of weather conditions on the formation of the thermal structure of a small polymictic lake in the temperate zone during the open water period was investigated on the basis of an analysis of the data of daily long-term (2007–2020) field measurements. It is shown that during the spring-summer heating of the Lake Vendyurskoe (Karelia) from May to the first half of August, the temperature of the upper water layer (2 m) is mainly influenced by synoptic air temperature variability. At medium depths (6 m), the influence of synoptic fluctuations in air temperature on water temperature significantly decreases, while the role of seasonal changes in heat accumulation increases. In the bottom layer (11 m), fluctuations in water temperature are mainly determined by episodes of complete mixing of the lake water mass during the passage of cyclones, that is, they depend on the intensification of winds, leading to the complete destruction of stratification. During the cooling period of the lake from the second half of August to the ice cover formation (November–December), against the background of a decrease in the role of synoptic variability, the influence of seasonal air temperature variability on water temperature increases. Fluctuations in air temperature explain more than 50% of the dispersion of epilimnion water temperature during the spring-summer heating and all layers of the water column during the autumn-winter cooling. An empirical model of the dependence of water temperature at different depths of the water column on synoptic and seasonal changes in air temperature for open water period has been developed. The model does not take into account heat exchange with bottom sediments, since in the period of open water surface, it is 1–2 orders of magnitude less than the total heat exchange with the atmosphere.

Keywords: small polymictic lake, water temperature, thermal stratification, air temperature, synoptic variability, seasonal variability, climatic variability, empirical model

REFERENCES

1. Bardin M.Yu. *Izmenchivost' temperatury vozduha nad zapadnymi territoriyami Rossii i sopredel'nymi stranami v XX veke* // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2002. № 8. S. 5–23.
2. Vserossiyskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informacii - Mirovoj centr dannyh (VNIIGMI-MCzD). URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (Data obrashheniya 10 sentyabrya 2021 g.).
3. Gavrilenko G.G., Zdorovenova G.E., Zdorovenov R.E., Pal'shin N.I., Mitrosov A.V., Terzhevik A.Yu. *Teplopotok na granice voda-donnye otlozheniya v nebol'shom ozere* // *Trudy KarNCz RAN*. № 9. Ser. Limnologiya. 2015. C. 3–9. <https://doi.org/10.17076/lim72>
4. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduxa*. Obninsk: VNIIGMI-MCzD, 2012. 194 s.
5. Efremova T.V., Pal'shin N.I., Belashev B.Z. *Temperatura vody raznotipnyh ozer Karelii v usloviyax izmeneniya klimata (po dannym instrumental'nyh izmerenij 1953–2011 gg.)* // *Vodnye resursy*. 2016. T. 43. № 2. S. 228–238.
6. *Ozera Karelii. Spravochnik*. Petrozavodsk: KarNCz RAN, 2013. 464 s.
7. Pal'shin N.I., Efremova T.V. *Stokasticheskaya model' godovogo xoda temperatury poverkhnosti vody v ozerax* // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2005. № 3. S. 85–94.
8. *Raspisanie pogody*. URL: <http://rp5.ru>. (Data obrashheniya 10 sentyabrya 2021 g.)

9. Reznikov A.I., Isachenko G.A. Izmenenie klimaticheskix xarakteristik zapadnoj chasti tajgi Evropejskoj Rossii v konce XX-nachale XXI vv. // *Izvestiya RGO*. 2021. T. 153. № 1. S. 3–18.
<https://doi.org/10.31857/S0869607121010055>
10. Kuusisto E. Suomen Vestöjen Lämpötilat Kaudella 1961–1975. Water temperature of lakes and rivers in Finland in the period 1961–1975. Vesihallitus – National board of waters, Finland, Helsinki, 1981. 40 p.
11. Liu W., Bocaniov S.A., Lamb K.G., Smith R. E.H. Three-dimensional modeling of the effects of changes in meteorological forcing on the thermal structure of Lake Erie // *J. Great Lakes Research*. 2014. 40, 4. P. 827–840.
<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2014.08.002>.
12. Mammarella I., Gavrylenko G., Zdorovenova G., Ojala A., Erkkilä K.-M., Zdorovenov R., Stepanyuk O., Palshin N., Terzhevik A., Vesala T., Heiskanen J. Effects of similar weather patterns on the thermal stratification, mixing regimes and hypolimnetic oxygen depletion in two boreal lakes with different water transparency // *Boreal Env. Res.* 2018, 23. P. 237–247.
13. Mironov D.V. Parameterization of lakes in numerical weather prediction. Description of a lake model // COSMO Technical Report. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Germany. 11. 2008. 41 p.
14. O'Reilly C. M., et al. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe // *Geophysical Research Letters*. 2015. 42, 24. 10773–10781.
<https://doi.org/10.1002/2015GL066235>.
15. Perroud M., Goyette S., Martynov A., Beniston M., Anneville O. Simulation of multiannual thermal profiles in deep Lake Geneva: a comparison of one-dimensional lake models // *Limnol. Oceanogr.* 2009. 54, 5. P. 1574–1594.
16. Robertson D.M., Ragotzkie R.A. Changes in thermal structure of moderate to large sizes lakes in response to change in air temperature // *Aquatic Sciences*. 1990. 52, 3. P. 360–380.
17. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observations and Modeling. Springer, 2010. 308 p.
18. Sharma S., Walker S.C., Jackson D.A. Empirical modeling of lake water-temperature relationships: a comparison of approaches // *Freshwater Biol.* 2008. № 53. P. 897–911.
19. Schneider P., Hook S.J. Space observations of inland water bodies show rapid surface warming since 1985 // *Geophys. Res. Lett.* 2010. 37, 22. P. 1–5. L22405,
<https://doi.org/10.1029/2010GL045059>.
20. Toffolon M., Piccolroaz S., Majone B., Soja A.-M., Peeters F., Schmid M., Wüest A. Prediction of surface temperature in lakes with different morphology using air temperature // *Limnol. Oceanogr.* 2014. 59(6). P. 2185–2202.
<https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.6.2185>
21. Woolway R.I., Merchant C.J. Intralake heterogeneity of thermal responses to climate change: A study of large Northern Hemisphere lakes // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018. 123. P. 3087–3098.
<https://doi.org/10.1002/2017JD027661>.
22. Xue P., Pal J.S., Ye X., Lenters J.D., Huang C., Chu P.Y. Improving the Simulation of Large Lakes in Regional Climate Modeling: Two-Way Lake–Atmosphere Coupling with a 3D Hydrodynamic Model of the Great Lakes // *Journal of Climate*. 2017. 30, 5. P. 1605–1627.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0225.1>
23. Zhong Y., Notaro M., Vavrus S.J., Foster M.J. Recent accelerated warming of the Laurentian Great Lakes: Physical drivers // *Limnol. Oceanogr.* 2016. 61, 5. P. 1762–1786.
<https://doi.org/10.1002/lno.10331>