

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 910.1:51-7

DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-6-21

ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО МЕТА-АНАЛИЗА**Александр Константинович Черкашин**ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7596-7780>, Researcher ID: K-2418-2017, SPIN-код: 5266-0499

e-mail: akcherk@irnok.net

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

Географический мета-анализ – методология объединения результатов исследований разных территориальных объектов различных местоположений средствами логического, математического и статистического анализов для обоснования и проверки научных гипотез. Мета-аналитические обобщения основаны на нестатистическом подходе сравнительно-географических исследований с переходом от исходных неоднородных наборов данных к однородным данным, допускающим статистическую обработку. Методология мета-анализа разрабатывается на метатеоретической основе с позиций системного расслоения земной реальности на многообразии географической среды. Локально процессы и явления описываются однотипными квалиметрическими уравнениями интеграции и генерализации данных, поэтому каждая ситуация сводится к свойствам типового слоя и универсальным уравнениям связи переменных. Особенности использования методов географического мета-анализа рассматриваются на примерах распространения по странам заболеваний коронавирусом COVID-19, сезонного развития природы тайги и градиентного анализа факторного влияния на распределение горных геосистем разного типа (геомов). Для сжатия информации применяются методы расчета интегральных показателей и иных средств исключения средового влияния. Выявленные закономерности, которые не зависят от индивидуальных значений факторов и условий воздействия на процессы и связи характеристик состояния природных и социально-экономических систем, представляют собой зависимости в инвариантном виде.

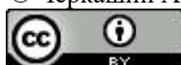
Ключевые слова: географический мета-анализ, метатеоретический подход, географическая среда, нестатистический анализ, типовые модели, чистое знание.

GEOGRAPHICAL META-ANALYSIS AND ITS FEATURES**Aleksander K. Cherkashin**ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7596-7780>, Researcher ID: K-2418-2017, SPIN-code: 5266-0499

e-mail: akcherk@irnok.net

Sochava V.B. Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

Geographical meta-analysis is a methodology for combining the results of studies of various territorial objects of different types of locations by means of logical, mathematical and statistical analysis to justify and test scientific hypotheses. Meta-analytical generalizations are based on a non-statistical approach of comparative geographical research with a transition from initial heterogeneous data sets to homogeneous data that can be statistically processed. The meta-analysis methodology is developed on a meta-theoretical basis from the standpoint of the system stratification (fiber, bundling) of the earth's reality on the manifold of the geographical environment. Locally, the same qualimetric equations for data integration and generalization describes processes and phenomena, so each situation is reduced to the properties of a typical layer (fiber) and universal equations on the connection of variables. Features of using geographical meta-analysis methods are considered on the examples of the spread of COVID-19 coronavirus diseases across countries, seasonal development of taiga nature, and gradient analysis of the factor influence on the distribution of mountain geosystems of various types (geomes). In order to compress information, we use methods for calculating integral indicators and other means of excluding influence from the environment.



The revealed regularities do not depend on individual values of factors and conditions that influence the processes and relationships between the characteristics of the state of natural and socio-economic systems. They represent dependencies in a refined form.

Key words: geographical meta-analysis, metatheoretical approach, geographical environment, non-statistical analysis, typical models, refined knowledge.

Введение

Успешное развитие каждой отрасли науки взаимосвязано с эффективным заимствованием понятий, моделей и методов из других областей знания. Наибольший эффект достигается при взаимодействии дисциплин со сходными предметами исследования. Для географии такими науками являются история, геология, техника, медицина и другие прикладные дисциплины, направленные на идеографическое познание уникальности объектов, сложных систем-комплексов, конкретных объектов, особенных процессов и единичных явлений, неповторимых в их пространственном и временном выражениях.

Цели географии иногда связывают с задачами медицины, справедливо полагая, что география – это наука о здоровье планеты [16], наука прикладной направленности по изучению географической среды, ее сохранению, рациональному и комплексному использованию [27]. Это обусловлено не только междисциплинарным характером медицинской географии – разделом географии или географической медицины – части медицинской науки, сколько общей методологической установкой, ориентацией на индивидуальный подход к объекту исследования и управления в теоретическом и практическом выражениях. Общественная значимость медицинского знания, огромные усилия и затраты для его получения позволяют достичь огромных результатов биомедицинских исследований, ставших образцом для других прикладных наук.

Например, доказательная медицина – подход в медицинской практике, при котором решения о применении профилактических, диагностических и лечебных мероприятий принимаются исходя из строгого обоснования их эффективности и безопасности путем поиска, сравнения, обобщения и распространения для использования в интересах отдельных пациентов [25; 42]. Методы доказательной медицины используются в клинических исследованиях и в повседневной клинической практике и реализуются посредством анализа информации из различных источников по схеме «пирамиды доказательств». В основании пирамиды находятся исходная информация тестирования и первичные мнения экспертов. Вершине пирамиды соответствуют систематические обзоры (СО) и мета-анализ – самые надежные средства обоснования способов лечения.

В процедурах СО выявляются, отбираются, оцениваются и синтезируются все исследовательские данные, относящиеся к обсуждаемой проблеме. Проводится аннотированный тематический исчерпывающе всесторонний анализ научной литературы и других опубликованных и неопубликованных источников. СО формирует информационную основу принятия решений в медицинской практике. Сходным образом ставится задача в концепции ландшафтно-географического обеспечения решения комплексных проблем освоения регионов [20] с широтой территориального охвата и детальным учетом специфики отдельных местоположений [15].

В экономической географии подобные исследования проводятся средствами экономико-географического анализа и географической экспертизы [13–15] путем решения задач информационного обеспечения освоения земель, учета опыта освоения, качества информационных ресурсов. Особое внимание уделяется географическому содержанию понятий и нормативных документов в их приложении к условиям конкретной территории для проверки того, как географическая специфика учитывается на практике.

Теоретическая география
Черкашин А.К.

Методология геоинформационного обеспечения процессов освоения находится в сфере интересов конструктивной географии [6; 7] – междисциплинарного направления, объединяющего естественно-исторические и социально-экономические подходы к исследованию взаимодействия природной среды, населения и хозяйства. Основная задача – переход от описательно-познавательных к экспериментально-преобразовательным методам географии для решения важных инженерно-географических задач конструирования окружающей среды жизнедеятельности. Конструктивная география должна быть интегральной дисциплиной, которая использует достижения математики, физики, химии и биологии, широко применяет новые методологические подходы [8].

В отличие от обсервационных исследований, в которых данные получены простыми наблюдениями за событиями в их естественном течении, эксперимент требует активного вмешательства. В географии этот метод сложный и опасный, который реально возможен только на локальном уровне в ходе стационарных работ на опытных площадях либо в процессе неконтролируемых катастрофических воздействий, что происходит при извержении вулканов или антропогенном давлении на природу в результате рубок или пожаров, выбросов и сбросов загрязнителей, а также капитального строительства [17]. По этой причине возможности экспериментального изучения ограничены масштабами явлений, поэтому любые результаты в этой области важны и интересны [12].

К одной из популярных и быстро развивающихся методик системной интеграции результатов отдельных исследований относится мета-анализ. В СО используют статистические методы мета-анализа для объединения коротких рядов данных и получения новых статистически значимых выводов, что позволяет увеличить достоверность результатов на множестве малых выборок. Постоянно обновляемые мета-анализы дают возможность сократить время между научным открытием и внедрением его результатов в практику.

Мета-анализ широко применяется в социальных и биомедицинских науках, в том числе со сходной с географической тематикой. В частности, проведен количественный анализ объединенных результатов эколого-эпидемиологических исследований по оценке воздействия факторов окружающей среды [29]. В научных публикациях по экологии и в смежных дисциплинах накоплен большой опыт по применению мета-анализа с обсуждением его достоинств и недостатков [30; 37; 39; 40]. Мета-анализ эмпирических исследований связи показателей управления с финансовым состоянием компании позволяет оценить истинный уровень реализации этой взаимосвязи в правовой, политической и экономической средах [5]. Мета-аналитические исследования в социальных науках представлены СО количественного синтеза, что обобщают результаты отдельных экспериментальных работ [4].

В медицине, как и в географии, изучаются индивидуальные объекты с разными свойствами, находящиеся в различных условиях, обычно с получением коротких рядов или даже единичных данных наблюдений и измерений. В связи с этим ставится под сомнение достоверность мета-анализа, поскольку считается, что объединение данных разрозненных и разнокачественных исследований приводит к ошибочным результатам [19]. Несмотря на эти сложности, для обеспечения фундаментального характера исследований, опираясь на накопленный опыт, необходимо формировать доказательную географию, выделяя главные, инвариантные, статистически достоверные знания о взаимосвязи пространственных явлений и их развертывании во времени. Необходимо обеспечить свойственный географии комплексный характер СО и мета-анализа для объединения разнокачественных данных и знаний, выделяя главное, а с другой стороны, разрабатывать методы учета особенностей географической среды, превращения общих законов взаимосвязи в частные закономерности. При этом важно опираться не столько на результаты слепого поиска закономерностей или

статистического анализа накопленной информации, сколько на строгие метатеоретические (МТ) и математические правила проявления неоднородности данных, методы ее исключения и моделирования уникальности каждой ситуации [34].

Основные понятия

Доказательность знаний – общенаучное требование, которое обеспечивается эмпирическими и теоретическими исследованиями, индуктивной и дедуктивной логикой, количественным и качественным анализом и синтезом информации. Необходимо познавательно продвигаться от частного к общему, от конкретного к абстрактному чистому (рафинированному) знанию и далее в направлении восхождения от абстрактного к конкретному знанию высокого конструктивного уровня. СО и мета-анализ формируют типовую модель решения специальной проблемы в различных ситуациях, когда эксперимент в общенаучном понимании, т.е. проведение рандомизированных контролируемых испытаний с минимизацией влияния источников систематической ошибки, невозможен.

Цель мета-анализа – выявление, изучение и объяснение различий вследствие статистической неоднородности результатов исследований и соответственно увеличение точности оценки эффекта анализируемого вмешательства с применением статистической обработки имеющейся информации. Это позволяет более точно определять категории объектов и типы среды, для которых применимы полученные результаты.

В мета-анализе используются две модели исследований с фиксированными и случайными эффектами [41]. Первая модель предполагает, что исследования, вовлеченные в мета-анализ, проводились при одинаковых условиях над однотипными объектами. Модель случайных эффектов учитывает влияние внешних факторов на результаты. Это связано соответственно с гомогенностью (однородностью) и гетерогенностью (неоднородностью) статистических выборок. Такое разделение характерно для географии, где выделяются иерархические ряды гомогенных типологических (геомеры) и гетерогенных индивидуальных (геохоры) рядов геосистем [26]. Геомеры – моносистемы по В.С. Преображенскому [23], которые отображают типы межкомпонентных связей, соответствуют одной разновидности географической среды с особым режимом функционирования. Геохоры – полисистемы, состоящие из взаимодействующих участков геомеров и геохор в определенных территориальных границах (районах). Геомеры обладают устойчивостью режимных характеристик против возмущающих воздействий среды в составе геохор, неоднородность (дифференциация) которых устанавливается в результате сравнительно-географических исследований и ландшафтно-типологического картографирования. Это связано с необходимостью относительной оценки результатов исследований разных местоположений и их интеграции для получения обобщающего вывода. В ландшафтоведении выделяются сходства и различия геосистем относительно инвариантных норм географической среды – геосистем зонального типа. В социальной и экономической географии имеются свои нормы сравнения, например, нормы общественного поведения, общественно-необходимые издержки производства при нормальных (типичных) условиях, худшие условия ведения хозяйства, относительно которых определяется рента природопользования, обусловленная более благоприятной средой деятельности.

Конечно, удобно, если в мета-анализ входят результаты гомогенных исследований, в которых условия одного испытания согласуются с условиями других. Такое соответствие определяется по опыту натурального изучения территории или статистическими методами. В противоположность прямому наблюдению за долговременной динамикой геосистем на постоянных площадях косвенный метод изучения динамики геосистем и их компонентов предполагает исследование их пространственных рядов разных стадий восстановления коренных образований. Проводятся наблюдения за совокупностью объектов, выступающих

Теоретическая география
Черкашин А.К.

по отношению к исследуемому в качестве объектов-аналогов, поэтому возникает сложная задача выделения рядов таких аналогов (серийности). Реконструкция временных последовательностей (восстановительных сукцессий) проводится на основе сравнительного анализа полевых описаний участков ландшафтов, занимающих сходные местоположения и относящиеся к одному типу геомеров. Этот алгоритм наглядно реализован при изучении динамики растительного покрова [1; 38].

В действительности данные наблюдений и связи параметров геосистем изменяются от места к месту, т.е. при сборе информации не удовлетворяют базовому требованию формирования статистического ансамбля данных о моделируемом явлении, так что задача сравнения геосистем решается не просто. В мета-анализе гетерогенность возникает, когда вариации изучаемого эффекта не могут быть объяснены только вариабельностью выборки, а определяются систематической ошибкой, индуцированной внешней и внутренней средой системы. Объединение результатов разных наблюдений (статистических выборок, порций информации) увеличивает мощность мета-анализа, но требует учета средовой неоднородности. Существует своя специфика географических данных и знаний, вызывающая необходимость создания своеобразной геометрологии прямых и косвенных измерений [2; 33]. Накапливается массовый материал пространственно-координированных данных, для обработки которых необходимы адекватные математические модели и методы. Географическая точность данных, помимо точности инструментальных измерений, обусловлена полнотой учета всех факторов и условий, отражающих местную специфику наблюдения. В расчетах помимо характеристик состояния геосистемы во внимание принимается состояние ее среды (метагеосистемная модель), что является основанием для типизации местоположений и их соизмерения (моделирования).

Поскольку получающиеся в географии выборки данных в большинстве случаев коротки и неоднородны, использование методов обычной статистики оказывается невозможным, в связи с чем возникает необходимость нестатистического подхода, что учитывает средообусловленное варьирование вида функциональной зависимости. Таким образом, если знаем закон и параметры этого варьирования, то имеем возможность проводить мета-анализ, т.е. сводить частные закономерности к универсальным формулам. Здесь задачи мета-анализа состоят в выявлении и устранении противоречий исходных данных, проверке гипотез о виде искомой зависимости, ее достоверности и пригодности для расчетов. Методы мета-анализа используются в качестве средств борьбы с неоднородностью выборок и выявления универсальных связей.

Особенностью нестатистического подхода является то, что ошибки наблюдения переменных и невязок зависимости заранее известны, в частности, интервально ограничены по величине [9; 43]:

$$F(x) = \Phi(x, a) + F^*(a), \quad (1)$$

где $F(x)$ – наблюдаемая выходная величина, искомая функция, отражающая закономерность; $x = \{x_i\}$ – набор наблюдаемых входных признаков системы (диагностических показателей, казуальных переменных) с диапазоном их значений $x \in X$; $\Phi(x, a)$ – эмпирическое приближение функции $F(x)$; $a = \{a_i\}$ – набор параметров модели, которые необходимо определить; $F^*(a)$ – неопределенная (скрытая) составляющая вариации выходной величины, которая включает погрешность измерения переменных и оценки коэффициентов, а также необъясненное функцией $\Phi(x, a)$ влияние факторов и условий. Функция $F^*(a)$ напрямую не зависит от переменных x , но зависит косвенно через связь $a(x)$. Для восстановления вида $\Phi(x, a)$ используют методы параметрической статистики: регрессионный, дисперсионный, факторный, ковариационный анализы. В простейшем случае рассчитываются коэффициенты корреляции R или детерминации R^2 набора нормированных и центрированных показателей $x^* = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ каждой геосистемы с аналогичным набором для геосистемы зональной

Теоретическая география
Черкашин А.К.

нормы [31]; величины R или R^2 показывают степень сходства или отклонения от нормы. Конечной целью мета-анализа являются выделение и удаление среднего шума, содержащегося в $F^*(a)$.

Правильно выполненный мета-анализ предполагает проверку научной гипотезы, детальное и четкое изложение применяющихся количественных методов, подробное изложение и обсуждение результатов анализа, а также вытекающих из него выводов. Подобный подход обеспечивает уменьшение вероятности случайных и систематических ошибок, позволяет говорить об объективности получаемых результатов (исходов). Мета-анализ выполняется в несколько этапов: определение критериев включения оригинальных исследований в мета-анализ; оценка неоднородности их результатов; получение обобщенной оценки величины эффекта (зависимости); анализ чувствительности выводов.

В географическом мета-анализе критерием включения является однотипность решаемых задач и изучаемой зависимости $F(x)$ – системной тематической модели (теме анализа, предметной области), отражающей причинно-следственные связи типа воздействия $x=\{x_i\}$ и реакции $F(x)$ похожих объектов. Здесь реализуется позиционный принцип географического знания: одинаковые объекты, занимающие различные местоположения, различаются по своим функциям [24], что можно также трактовать как принцип средовой относительности. Очевидно, разные объекты в одинаковых условиях могут вести себя по-разному. Здесь среда выступает как инвариант погруженного в нее множества объектов, а свойства объекта являются инвариантами разных сред. Качество мета-анализа существенно зависит от состава включенных в него исходов тестирования разных объектов, факторов и условий. Идеальный случай для статистического анализа – данные исследований однородных объектов в одинаковой среде по модели постоянных эффектов.

Статистически величина эффекта оценивается по-разному, в частности, используются стандартизованные разницы или отношения средних в сравниваемых группах исходов. Оценка гетерогенности (статистической неоднородности) проводится по результатам реакции на одинаковые значения факторов в разных исследованиях, что определяет их дисперсию относительно единого истинного фиксированного значения эффекта или дисперсию между исследованиями, обусловленную различиями между изучаемыми выборками с разными эффектами.

При анализе чувствительности определяется, насколько результаты мета-анализа устойчивы к различным ограничениям включенных в него данных. Примером служит варьирование сочетаний данных через включение или исключение отдельных испытаний из набора исходных исследований. Совпадение итоговых показателей обработки считается доказательством эффективности изучаемого воздействия и достоверности выводов мета-анализа. Существует несколько статистических подходов к выполнению мета-анализа: анализ выживания, байесовский, кумулятивный, многофакторный, регрессионный. В последнем случае при существенной гетерогенности результатов используются логистическая регрессия, регрессия взвешенных наименьших квадратов, модель Кокса и др. Они позволяют учесть влияние нескольких факторов на исход частных испытаний. Результаты мета-анализа представляются графически или в виде таблиц с соответствующими статистиками.

Модели и методы

Мета-анализ – совокупность процедур сквозной научной методологии, заключающейся в объединении результатов нескольких исследований методами статистики для проверки одной или нескольких взаимосвязанных научных гипотез. Это общенаучный методологический прием, распространяющийся на различные области знаний. Высокая общность подхода, его сквозной характер и учет условий среды позволяют рассматривать

методологию мета-анализа на МТ-уровне, предполагающем использование математических формул отображения знаний с фундаментальными содержательными ограничениями [34].

Исходим из нестатистической зависимости (1) для случая билинейной формы оценочной функции $\Phi(x, a) = a \cdot x = \sum_i a_i x_i$, где $a \cdot x$ – скалярное произведение двух векторов – набора исходных факторов влияния $x = \{x_i\}$ и набора параметров модели $a = \{a_i\}$:

$$F(x) = a \cdot x + F^*(a) = \sum_i \frac{\partial F}{\partial x_i} x_i + F^*(a). \quad (2)$$

Это симметричное относительно входных переменных x и параметров их влияния a универсальное соотношение соответствует прямому $F(x) \rightarrow F^*(a)$ и обратному $F^*(a) \rightarrow F(x)$ касательному преобразованию Лежандра, переводящему любую гладкую, дифференцируемую функцию $F(x)$ в двойственную ей функцию $F^*(a)$, в данном случае отражающую скрытую составляющую вариации выходной величины $F(x)$. Переменная $a_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} = \frac{\partial f(y)}{\partial y_i}$ – это чувствительность изменения $F(x)$ к изменению x_i на единицу. Переменные $a = \{a_i\}$ – внутренние характеристики системы, что в различных науках трактуются по-разному: факторные нагрузки в статистике, интенсивные потенциалы в физике, теневые цены, показатели акселерации инвестиций и предельной полезности товаров в экономике.

Выберем в качестве эталона сравнения объект с характеристиками $x_0 = \{x_{0i}\}$, когда

$$\text{а) } F^*(a) = F(x_0) - a \cdot x_0; \text{ б) } F(x) - F(x_0) = a \cdot (x - x_0). \quad (3)$$

В смещенных переменных $y = x - x_0$ и $f(y) = F(x) - F(x_0)$ уравнение (2) имеет универсальную бескоэффициентную форму

$$f(y) = a \cdot y = \sum_i a_i y_i = \sum_i \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i. \quad (4)$$

Функция $f(y)$ своеобразно интегрирует, аккумулирует, суммарно обобщает, оценивает смещенные относительно характеристик среды показатели $y = x - x_0$ с весовыми параметрами $a = \{a_i\}$. Вид ее не зависит от масштаба явления и размерности переменных, от изменчивости по факторам и условиям одновременно.

При постоянных значениях a выражение (2) становится линейным уравнением, для которого значения a определяются методами регрессионного анализа, где $F^*(a)$ соответствует свободному члену (отрезку) уравнения регрессии. Расчеты для разных объектов в одной среде дают разные наборы значений a , которые удовлетворяют линейному соотношению (3а), что является критерием гомогенности выборки по условиям различных наблюдений. Если равенство (3а) не выполняется, то это указывает на неоднородность источников данных, что является основанием для их членения по типам среды или типам объектов. Выявив значения x_0 и $F(x_0)$, приходим к универсальной форме, одинаковой для всех объектов в разных средах, что позволяет перейти от нестатистического анализа к статистическому с оценкой средних и дисперсий. Важным моментом мета-анализа является перевод исходной функции в линейную форму (2), например, посредством логарифмирования, дифференцирования или интегрирования.

Уравнения (2)–(4) имеют множество содержательно-научных интерпретаций МТ-уровня. В соотношениях (2)–(4) экономическая функция $F(x)$ соответствует доходу, $F^*(a)$ – прибыли, $\Phi(x, a) = a \cdot x$ – издержкам производства, себестоимости, где $a = \{a_i\}$, $x = \{x_i\}$ – цена и количество ресурсов. В уравнении (3) $F(x_0)$ – это нормальная прибыль, $x_0 = \{x_{0i}\}$ – нормативные затраты ресурсов в условиях совершенной конкуренции. С учетом (1) прибыль трактуется как «ошибка» процесса производства и реализации продукции в конкретных экономических условиях $x_0 = \{x_{0i}\}$ с уровнем цен $a = \{a_i\}$. Поскольку прибыль – главный

экономический показатель эффективности производства, в общем случае функция $F^*(a)$ (свободный член уравнения (2)) рассматривается как индикатор состояния системы. Цены a изменяются, а показатели условий $F(x_0)$ и x_0 остаются постоянными и выявляются в регрессионном анализе посредством соотношения (3а). Это означает, что $F(x_0)$, x_0 – не произвольные величины, а их значения вычлняются из наблюдений и устойчиво характеризуют ситуацию (среду).

Объяснение этого эффекта вытекает из МТ-модели касательного расслоения над многообразием [34], поверхность которого задается функциями $F(x)$ и $F(x_0)$. Уравнение (3б) описывает касательную к многообразию $F(x)$ плоскость (слой) TM_{x_0} в точке касания $[x_0, F(x_0)]$. Совокупность огибающих плоскостей TM_{x_0} в разных точках восстанавливает форму $F(x_0)$, которая в географии трактуется как многообразие географической среды с характеристиками $[x_0, F(x_0)]$ в каждой ситуативной точке. В локальных координатах $y_i = x_i - x_{0i}$ уравнения (2) выглядят одинаково (4), поэтому связи переменных $x = \{x_i\}$ сравнимы между собой и с эталонной моделью (4) типового слоя TM_0 с $x_{0i} = 0$. Первичная задача географического мета-анализа состоит в сведении наблюдаемых в разных местоположениях закономерностей $F(x)$ к типовому виду $f(y) = a \cdot y$ (4), переходе в каждом случае от глобальных (исходных) координат $x = \{x_i\}$ к локальным $y = \{y_i\}$. Тогда данные с разных мест (геомеров) выглядят как единый набор данных, на основе которых выявляется общая закономерность (чистое знание) – осуществляется переход от конкретных данных к абстрактному знанию и моделям. Значения $x_0, F(x_0)$ рассматриваются в качестве модераторов функции $f(y)$, в которой обратная замена переменных $x_i = y_i + x_{0i}$ приводит к искомой функции $F(x)$ для каждой средовой ситуации $[x_0, F(x_0)]$. Это обратная задача мета-анализа – проблема области географической герменевтики, связанной с трактовкой номотетических законов в условиях конкретной ситуации (среды). Задача собственно мета-анализа – очищение и сжатие информации $F(x) \rightarrow f(y)$, трансформация эмпирических зависимостей к типовому виду законов взаимосвязи.

Результаты и обсуждение

В качестве оценочной функции $F(x)$ рассмотрим распространенную в медицинском мета-анализе функцию выживаемости $P^*(t)$ – доля выживших к моменту времени t с начала процесса. Для анализа данных по этой функции используют понятия надежности, где $P^*(t)$ – вероятность безотказной работы системы до момента t . На основе функции $P^*(t)$ рассчитываются другие показатели надежности:

$$P(t) = -\frac{dP^*(t)}{dt}, E(t) = -\ln P^*(t) = C + \int p(\xi) d\xi, p(t) = \frac{dE}{dt} = \frac{P(t)}{P^*(t)}, \quad (5)$$

где $P(t)$ – функция плотности вероятности (распределения) отказов; $E(t)$ – интегрированная опасность; $p(t)$ – интенсивность отказов, дифференцированная опасность, или риск; ξ – переменная интегрирования; C – константа интегрирования. Базовая функция интенсивности $p(t)$ в модели Кокса мета-анализа обычно считается экспонентой:

$$p(t) = k \exp[k(t-t_0)], \quad (6)$$

где k – предельный риск, при котором продолжение процесса невозможно; время $t=t_0$ соответствует пику развития процесса $P(t_0)=P_0$ – максимальной величине распределения отказов $P(t)$. Зависимость (6) сводится к линейной форме $\ln p(t) - \ln k = k(t-t_0)$ вида (3б) при $x=t$, $x_0=t_0$; здесь t_0 – индивидуализирует процесс. Опасность $E(t)$ по формуле (5) является интегральной (накопленной, кумулятивной) суммой величины интенсивностей отказов $p(t)$. Переход к таким переменным упрощает зависимости, например, в случае (6) согласно (3) будет: $E(t) = \exp[k(t-t_0)]$, $P^*(t) = \exp[-E(t)]$, $P(t) = eP_0E(t)\exp[-E(t)]$, $p(t) = kE(t)$ (7) для всех

ситуаций t_0 . В различных случаях аналогичным образом разные интегральные показатели позволяют сконцентрировать информацию отдельных наблюдений в одну графическую зависимость.

Интегральные квалиметрические функции оценки [18] для дискретных P_j или непрерывных $P(\zeta)$ распределений элементов по состояниям j или ζ соответствуют следующим соотношениям:

$$Q(t) = \sum_j \varphi_j P_j(t); q(t) = C + \int \varphi(\zeta) P(\zeta) d\zeta, \quad (8)$$

где φ_j , $\varphi(t)$ – весовые коэффициенты, например, величина ущерба от опасного явления j или ζ , возникающего с частотой P_j или $P(\zeta)$.

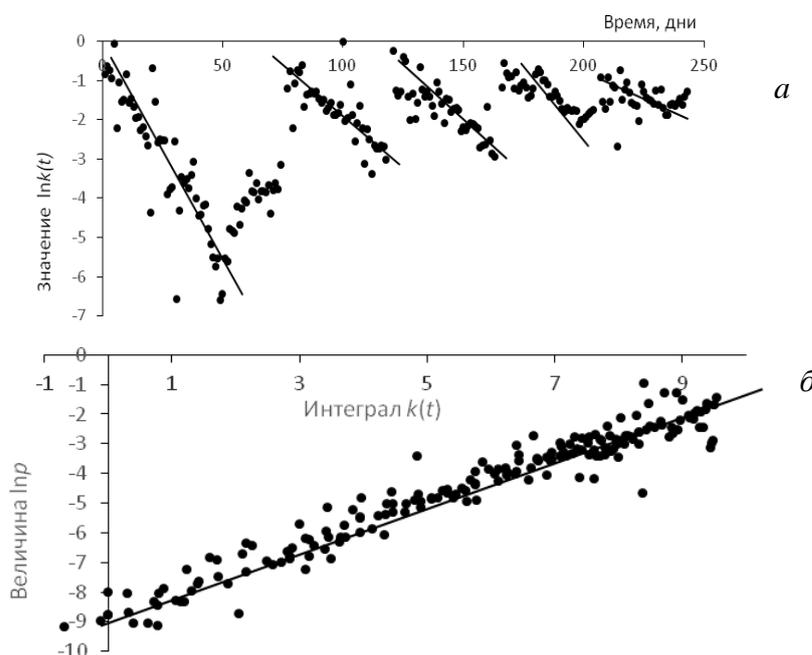


Рис. 1. Сопоставление линейных тенденций изменения приемлемого риска $\ln k(t)$ в начальный период распространения коронавируса COVID-19 (а) и связь величины $\ln p(t)$ с интегралом $k(t)$ (б) по странам: 1 – Китай; 2 – Франция; 3 – Германия; 4 – США; 5 – Россия [21]

Fig. 1. Comparison of linear trends in the acceptable risk $\ln k(t)$ in the initial period of the spread of COVID-19 coronavirus (a) and the relationship of the $\ln p(t)$ value with the integral $k(t)$ (b) by country: 1 – China; 2 – France; 3 – Germany; 4 – USA; 5 – Russia [21]

Распространение инфекций. Степень развития пандемии коронавируса COVID-19 (SARS-CoV-2) различается по странам, поэтому необходимо выявить общую закономерность эпидемического процесса для создания адекватных моделей и методов управления рисками [35]. Уравнение (6) оказалось неэффективным для описания эпидемических кривых, поскольку управляемый коэффициент $k(t)$ не постоянен – по факту зависит от времени (рис. 1, а). Выявляется иерархическая последовательность такого рода зависимостей:

$$p(t) = d \ln P^*(t)/dt, k(t) = d \ln p(t)/dt, g(t) = -d \ln k(t)/dt, \quad (9)$$

где $g(t)$ – коэффициент управляемости (показатель наклона линий на рис. 1, а. В силу (9), переменная величина $k(t) = p(t)/E(t) = k_0 \exp(-g(t-t_0))$ при постоянном g .

Переменные $\ln k(t)$ (см. рис. 1, а) различаются по странам вследствие неодинаковости моментов начала и пика эпидемии и разной управляемости ситуацией. Однако в интегральной форме $\ln p = C + \int k(t) dt$ эта разность нивелируется при соответствующем значении константы интегрирования C для каждой страны (рис. 1, б) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,994$:

$$\ln p(t) = C + \int k(t) = C + \int k(\zeta) d\zeta = -8,66 + 0,733 \int k(t).$$

Этот результат подтверждает справедливость выбора соотношений (9) в качестве модели развития эпидемического процесса. Они отражают факт генерализации данных, выраженной в иерархическом переходе от частных к более общим функциональным зависимостям. Это обуславливает сложные модели, описывающие неизвестные и гипотетические связи, что способствует совершенствованию методов мета-анализа на МТ-основе.

Сезонное развитие природы. Интенсивность природных процессов $F(x)$ зависит от многих факторов среды $x = \{x_i\}$ и описывается уравнением (3, б), где $x_0 = \{x_{0i}\}$ характеризует условия среды проявления этих факторов [32]. Количественное влияние факторов с темпами $a_i[x_i - x_{0i}]$ накапливается, и при превышении суммы воздействия величины меры $\Delta x = \{\Delta x_i\}$ система за время $\Delta \tau_i = \Delta x_i / a_i[x_i - x_{0i}]$ согласованно по факторам переходит в новое качество – новое состояние, стадию развития j . Для безрискового процесса на каждой стадии величина $p_j(t) = 0$.

В терминах динамических процессов – смены состояний с риском утраты или без него – описываются природные и социально-экономические процессы, например, в энергопроизводственных циклах, при транспортировке грузов или в системах массового обслуживания. В ландшафтах динамика наглядно прослеживается в движении грунтовых вод и водных масс по руслам рек, в восстановительно-возрастных стадиях развития растительного покрова. Процесс сезонного развития выражается в смене фенологических фаз живой и неживой природы, например, по фазам вегетационного периода растений: рост ($j=0$), бутонизация (1), цветение (2), плодоношение (3), отмирание (4). На основе интегрального метода фенологических наблюдений [3] определяется доля $P_j(t)$ растительных органов, находящихся в каждой фазе в момент времени t вегетационного периода. По формуле (8) при $\varphi_j = j$ рассчитывается интегральный показатель Э.М. Злобиной [10; 28] текущего состояния растений $Q(t)$. Его величина сравнивается с суммой по дням накопленных к моменту t эффективных температур, рассматриваемых в качестве ведущего фактора влияния:

$$S(t) = C + \int [T(\zeta) - T_0] d\zeta,$$

где $T(\zeta)$ – среднесуточная температура ($^{\circ}\text{C}$); T_0 – нижний порог эффективных температур, $T - T_0 > 0$.

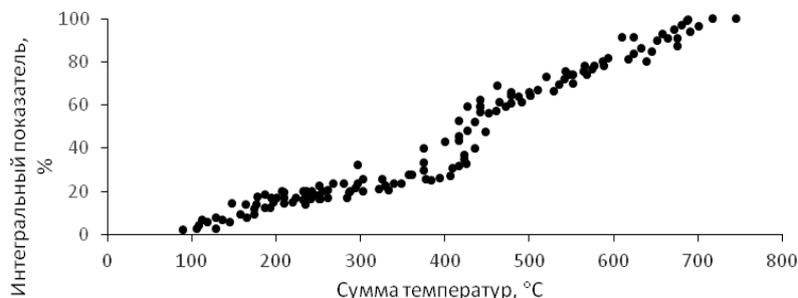


Рис. 2. Зависимость величины интегрального показателя фенологического состояния $Q(t)$ от суммы эффективных температур ($T_0 = 10^{\circ}\text{C}$) по данным сезонного развития майника двулистного (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt) различных местообитаний (фаций) в разные вегетационные периоды на Приангарском южно-таежном стационаре [11]

Fig. 2. Dependence of the integral indicator of the phenological state $Q(t)$ on the sum of effective temperatures ($T_0 = 10^{\circ}\text{C}$) according to the seasonal development data of *maianthemum bifolium* ((L.) F.W. Schmidt) of various habitats (facies) in different vegetation periods in the Angara south taiga stationary area [11]

Изменение показателя $Q(t)$ сезонного развития растительности во времени t сильно различается по годам, а инвариантная интегральная зависимость $Q(t)$ от суммы температур $S(t)$ устойчива (рис. 2), что иллюстрирует в географическом мета-анализе сжатие информации влияния изменчивых факторов $T(t)$ и устойчивых условий T_0 с использованием интегральных показателей. Включение или исключение данных отдельных лет и положений незначительно влияет на зависимость сезонных процессов от суммы температур, что является основанием для фенологического прогноза [22].

Аналогичным образом формализуется закон стоимости, согласно которому производство и обмен товаров осуществляются в соответствии со стоимостью, т.е. общественно необходимыми (эффективными) затратами труда в их суммарном денежном выражении. Благодаря объективному действию этого закона результаты производства и обмена не зависят от индивидуальных факторов и условий частного производства.

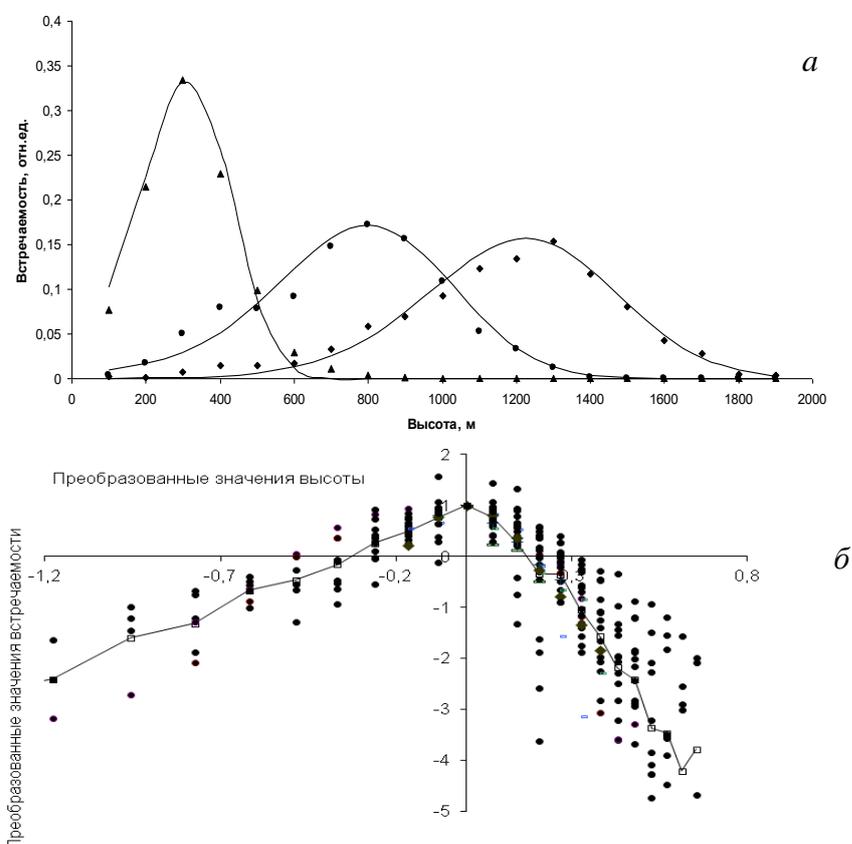


Рис. 3. Сравнение исходных (точки) и расчетных (линии) значений распределения встречаемости разных геомов по высоте (а), нормированные и центрированные логарифмированные значения встречаемости различных геомов и линия тенденции ее изменения по высоте (б) [36]

Геомы: 1 – гольцовые альпинотипные; 2 – горнотаежные лиственничные редуцированного развития; 3 – склоновые остепненно-луговые мелкозлаково-кобрезиевые

Fig. 3. Comparison of the initial (points) and calculated (lines) values indicating the distribution of the occurrence of different geomes by height (a), normalized and centered logarithmic values of the occurrence of different geomes and the trend line of its changes by height (b) [36].

Geomes: 1 – golets alpine type; 2 – mountain larch taiga of reduced development type; 3 – slope steppified meadow with small grains and kobresia type

Градиентный анализ. Распространение геосистем j по высоте местоположения x различается и отображается в виде кривых частотного распределения $P_j(x)$ (рис. 3, а), для установления которого используются ГИС ландшафтной карты окружения оз. Байкал и цифровая карта рельефа территории [36]. Необходимо выявить формулу общей

закономерности распределения $P_j(x)$ для ареалов геомов, т.е. решить обратную задачу моделирования по пространственным данным. С этой целью используется процедура географического мета-анализа сопоставления нормированных по моде распределения P_{0j} и центрированных по модальному средовому значению x_{0j} . Логарифмированием полученных величин зависимость $P_j(x)$ приводится к универсальной форме (4):

$$f(y) = \ln P_j(x) - \ln P_{0j} = a_j (\ln x - \ln x_{0j}) = a(y)y, \quad y = \ln x - \ln x_{0j}.$$

Сравнение кривых в данном случае возможно только при $a_j(x) = a_0 \exp[\alpha(x - x_0)]$, где α – константа, что обеспечивает детерминацию связи на уровне $R^2 = 0,80$ (рис. 3, б) и решение прямой задачи моделирования – аппроксимации исходных кривых $P_j(x)$ (рис. 3, а). Особенность географического мета-анализа в данном случае выражается в сравнении кривых встречаемости геомов по градиенту высоты путем сопоставления средовых параметров $\ln P_{0j}$ и $\ln x_{0j}$ распределений $P_j(x)$ [36].

Выводы

Географический мета-анализ – разновидность МТ-методологии объединения результатов разных исследований методами логики, математического анализа и статистики для обоснования и проверки научных гипотез, выявления, изучения и объяснения различий в результатах независимых исследований одной и той же проблемы. В его основе лежат сходные с картографическими процедурами интеграции и дифференциации пространственной информации средствами географического сравнения процессов и явлений, связанных с различными объектами в разных местоположениях и средовых условиях. В результате мета-анализа происходят синтез, сжатие, концентрация информации, представление зависимостей в инвариантном виде. Осуществляется свертка пространственного и картографического разнообразия в однотипные законы и закономерности. В контексте мета-анализа географические понятия приобретают новый смысл.

Мета-аналитическое обобщение основано на нестатистическом подходе сравнительно-географических исследований с переходом путем исключения средового влияния от исходных неоднородных наборов данных ко вторичным однородным данным, допускающим стандартную статистическую обработку, которая может обеспечить воспроизводимость и объективность полученных результатов, свойственных физической науке. Преобразования основаны на системном подходе к синтезу информации, что подразумевает математическое моделирование связей и изменений, наблюдаемых в природе и обществе. Разрабатываются новые методы обработки информации, поэтому необходимо накапливать и сохранять данные натуральных наблюдений с ожиданием появления новых идей и средств решения прямой и обратной задачи количественного мета-анализа.

Методология мета-анализа понятна с МТ-позиций расслоения процессов и явлений на многообразии географической среды. Касательные слои многомерного факторного пространства отражают развитие геосистемной ситуации, связанной с конкретными типами средовых условий. Локально процессы и явления описываются однотипными квалитетическими уравнениями интеграции данных, поэтому каждая ситуация сводится к свойствам типового слоя и универсальным уравнениям связи переменных, т.е. может быть мета-аналитически выражена.

В географии существует незначительный опыт проведения систематических обзоров мета-анализа. Требуется повышать роль и значение аннотированного анализа накопленных данных, знаний и опыта решений проблем с МТ-позиций. Необходимо продолжать разрабатывать и реализовывать идеи мета-анализа с учетом географических особенностей пространственных данных и знаний для информационного обеспечения конструктивного решения природоохранных и хозяйственных проблем территориального управления.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств государственного задания АААА-А21-121012190056-4 «Теоретические, статистические и натурные исследования и геоинформационное моделирование устойчивого развития природы и общества регионов России».

Acknowledgments. The research was funded as part of the state assignment АААА-А21-121012190056-4 'Theoretical, statistical and field studies, and geoinformation modeling of sustainable development of nature and society in Russian regions'.

Библиографический список

1. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова // Полевая геоботаника. Т. 3. М.; Л.: Наука, 1964. С. 300–447.
2. Бакланов П.Я. Географические измерения: виды, шкалы, параметры // Украинский географический журнал. 2013. № 2. С. 17–22.
3. Батманов В.А. Заметки по теории фенологических наблюдений // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. Ч. 1. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1967. С. 7–30.
4. Бороховский Е.Ф., Маркус Б.Р. Количественные синтезы в социальных науках: методология и практика мета-анализа. Ч. 1 // Психология. Экономика. Право. 2013. С. 5–15.
5. Гизатуллин А.В. Корпоративное управление и финансовая эффективность компании: мета-анализ // Вопросы экономики. 2008. № 10. С. 62–76.
6. Герасимов И.П. Советская конструктивная география. М., 1976. 210 с.
7. Герасимов И.П. Научная методология советской конструктивной географии // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. 1981. № 2. С. 6–11.
8. Герасимов И.П. Географический прогноз: советский опыт // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. 1985. № 2. С. 41–45.
9. Жилин С.И. Нестатистические модели и методы построения и анализа зависимостей: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук (05.13.01). Барнаул, 2004. 19 с.
10. Злобина Э.М. Интегральный показатель фенологического состояния видов растений при изучении динамики фенопроцесса // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. Ч. 2. Иркутск: Изд-во Института Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР, 1975. С. 100–116.
11. Злобина Э.М., Кремер Л.К., Черкашин А.К. Моделирование и прогноз фенологического состояния таежных растений // Моделирование и прогноз динамики геосистем. Иркутск: Изд-во Института Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР, 1979. С. 34–49.
12. Коломыц Э.Г. Экспериментальная географическая экология. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2018. 716 с.
13. Космачёв К.П. Географическая экспертиза качества информационных ресурсов // Проблемы территориальной организации народного хозяйства восточных районов СССР. Иркутск: Изд-во Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока, 1977. С. 25–45.
14. Космачёв К.П. Вопросы географической экспертизы информационного обеспечения региональных комплексных программ // Известия СО РАН СССР. Сер. обществ. наук. 1980. № 6. Вып. 2. С. 31–37.
15. Космачёв К.П. Географическая экспертиза: Методологические аспекты. Новосибирск: Наука, 1981. 109 с.
16. Котляков В.М. Болезнь или здоровье планеты // Избранные сочинения. Книга 4. М.: Наука, 2001. С. 153–158.
17. Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.
18. Лесных С.И., Черкашин А.К. Создание интегральных карт на примере территории муниципального района // География и природные ресурсы. 2017. № 4. С. 180–188.
19. Лукина Ю.В., Марцевич С.Ю., Кутишенко Н.П. Систематический обзор и мета-анализ: подводные камни методов // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2016. Т. 12. № 2. С. 180–185.
20. Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 205 с.
21. Пандемия COVID-19. Материалы Википедии. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/COVID-19> (дата обращения: 17.04.2020 г.).
22. Подольский А.С. Фенологический прогноз. М.: Колос, 1974. 287 с.
23. Преображенский В.С. Беседы о современной географии. М.: Наука, 1972. 168 с.
24. Родман Б.Б. География, районирование, картоиды. Смоленск: Ойкумена, 2007. 372 с.
25. Словарь терминов и сокращений, используемых в доказательной медицине // Доказательная кардиология. 2015. Т. 8. № 1. С. 53–56.
26. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.

Теоретическая география

Черкашин А.К.

27. Сочава В.Б. Теоретическая и прикладная география // Избр. труды. Новосибирск: Наука, 2005. 288 с.
28. Терентьева Е.Ю. Сезонный мониторинг растительности через суммированные фенологические характеристики фитоценозов // Актуальные проблемы регионального, географического, экологического и биологического образования. Екатеринбург: Изд-во УрГПУ, 2000. С. 116–117.
29. Турдалиева Б.С., Рахматуллаева Н.У., Тен В.Б., Раушанова А.М., Мусаева Б.А., Омарова Д.Б. Мета-анализ как инструмент доказательной медицины // Вестник Казахского Национального медицинского университета. 2011. № 4. С. 99–105.
30. Уткина И.А., Рубцов В.В. Взаимодействия фитофагов и лесных растений как объект мета-анализа // Лесной вестник. 2013. № 6. С. 25–31.
31. Фролов А.А., Черкашин А.К. Высотный градиент как комплексный фактор формирования микроразнообразия ландшафтов и серийности геосистем // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 14–24.
32. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез. Приложение в географии. Новосибирск: Наука, 1997. 502 с.
33. Черкашин А.К. Географическая точность и особенности метрологического моделирования геопространственных данных // Украинський метрологічний журнал. 2014. № 2. С. 7–15.
34. Черкашин А.К. Теоретическая и метатеоретическая география // Географический вестник. 2020. № 1(52). С. 7–21.
35. Черкашин А.К. Иерархическое моделирование эпидемической опасности распространения нового коронавируса COVID-19 // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 4. С. 10–21.
36. Черкашин А.К., Солодянкина С.И. Моделирование высотной структуры геомов Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 141–148.
37. Arnquist G., Wooster D. Meta-analysis: synthesizing research findings in ecology and evolution // TREE. 1995. V. 10. No. 6. P. 236–240.
38. Clements F. Plant succession: an analysis of the development of vegetation. Washington: Carnegie institution of Washington, 1916. 512 p.
39. Gates S. Review of methodology of quantitative reviews using meta-analysis in ecology // Journal of animal ecology. 2002. V. 71. P. 547–557.
40. Handbook of meta-analysis in ecology and evolution / J. Koricheva, J. Gurevitch, K. Mengersen (Eds.). Princeton: Princeton university press, 2013. 514 p.
41. Kelley G.A., Kelley K.S. Statistical models for meta-analysis: A brief tutorial // World journal of methodology. 2012. Vol. 2. No. 4. P. 27–32.
42. Mayer D. Essential evidence-based medicine. New York: Cambridge university press, 2010. 442 p.
43. Zhilin S.I. On fitting empirical data under interval error // Reliable computing. 2005. No. 11. P. 433–442.

References

- 1 Aleksandrova, V.D. (1964), “Study of vegetation cover changes”, *Field geobotany*, Nauka, Moscow, Leningrad, USSR, vol. 3, pp. 300–447.
2. Baklanov, P. Ya. (2013), “Geographical dimensions: types, scales, parameters”, *Ukrainian geographical magazine*, no. 2, pp. 17–22.
3. Batmanov, V.A. (1967), *Zametki po teorii fenologicheskikh nablyudenij* [Notes on the theory of phenological observations], *Ritmy prirody Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Rhythms of nature in Siberia and the Far East], Part 1, East Siberian book publishing house, Irkutsk, USSR, pp. 7–30.
4. Borohovskij, E.F., Markus, B.R. (2013), “Quantitative syntheses in the social Sciences: methodology and practice of meta-analysis. Part 1”, *Psychology. Economy. Right*, pp. 5–15.
5. Gizatullin, A.V. (2008), “Corporate governance and financial performance of the company: meta-analysis”, *Economic issue*, no. 10, pp. 62–76.
6. Gerasimov, I.P. (1976), *Sovetskaya konstruktivnaya geografiya* [Soviet constructive geography], Moscow, USSR.
7. Gerasimov, I.P. (1981), “Scientific methodology of Soviet constructive geography”, *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series*, no. 2, pp. 6–11.
8. Gerasimov, I.P. (1985), “Geographical forecast: the Soviet experience”, *Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series*, no. 2, pp. 41–45.
9. Zhilin, S.I. (2004), *Nestatisticheskie modeli i metody postroeniya i analiza zavisimostej* [Non-statistical models and methods for building and analyzing dependencies], Abstract of the thesis (05.13.01), Barnaul, Russia.
10. Zlobina, E.M. (1967), “Integral'nyj pokazatel' fenologicheskogo sostoyaniya vidov rastenij pri izuchenii dinamiki fenoproцесса” [Integral indicator of the phenological state of plant species in the study of the dynamics of the phenoprocess], *Ritmy prirody Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Rhythms of nature in Siberia and the Far East], Part 2, Institute of Siberia and the Far East SB AS USSR, Irkutsk, USSR, pp. 100–116.

Теоретическая география

Черкашин А.К.

11. Zlobina, E.M., Kremer, L.K., Cherkashin, A.K. (1979), "Modelirovanie i prognoz fenologicheskogo sostoyaniya taezhnyh rastenij" [Modeling and prediction of the phenological state of taiga plants], *Modelirovanie i prognoz dinamiki geosystem* [Modeling and forecasting of geosystem dynamics], Institute of Siberia and the Far East SB AS USSR, Irkutsk, USSR, pp. 34–49.
12. Kolomys, E.G. (2018), *Eksperimental'naya geograficheskaya ekologiya* [Experimental geographical ecology], Association of scientific publications KMK, Moscow, Russia.
13. Kosmachyov, K.P. (1977), "Geograficheskaya ekspertiza kachestva informacionnyh resursov" [Geographical examination of the quality of information resources], *Problemy territorial'noj organizacii narodnogo hozyajstva vostochnyh rajonov SSSR*, Institute of geography of Siberia and the Far East Publishing house, Irkutsk, USSR, pp. 25–45.
14. Kosmachyov, K.P. (1980), "Issues of geographical expertise of information support for regional integrated programs", *Proceedings of the USSR Academy of Sciences, SB, Social series*, no. 6, issue 2, pp. 31–37.
15. Kosmachyov, K.P. (1981), *Geograficheskaya ekspertiza: Metodologicheskie aspekty* [Geographical expertise: Methodological aspects], Nauka, Novosibirsk, USSR.
16. Kotlyakov, V.M. (2001), *Bolezn' ili zdorov'e planety* [Disease or health of the planet], Selected works, Book 4, Nauka, Moscow, Russia, pp. 153–158.
17. Krauklis, A.A. (1979), *Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape science.], Nauka, Novosibirsk, USSR.
18. Lesnyh, S.I., Cherkashin, A.K. (2017), "Creating integrated maps on the example of the territory of a municipal district", *Geography and natural resources*, no. 4, pp. 180–188.
19. Lukina, Yu.V., Marceovich, S.Yu., Kutishenko, N.P. (2016), "Systematic review and meta-analysis: pitfalls of methods", *Rational pharmacotherapy in cardiology*, vol. 12, no. 2, pp. 180–185.
20. Miheev, V.S. (1987), *Landshaftno-geograficheskoe obespechenie kompleksnyh problem Sibiri* [Landscape and geographical support of complex problems in Siberia], Nauka, Novosibirsk, USSR.
21. Pandemic COVID-19. Wikipedia materials, available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/COVID-19> (Accessed 17 April 2020).
22. Podol'skij, A.S. (1974), *Fenologicheskij prognoz* [Phenological prognosis], Kolos, Moscow, USSR.
23. Preobrazhenskij, V.S. (1972), *Besedy o sovremennoj geografii* [Conversations about modern geography], Nauka, Moscow, USSR.
24. Rodoman, B.B. (2007), *Geografiya, rajonirovanie, kartoidy: Sbornik trudov* [Geography, zoning, cartography: a collection of works], Oykumena, Smolensk, Russia.
25. "Dictionary of terms and abbreviations used in evidence-based medicine" (2015), *Evidence-based cardiology*, vol. 8, no. 1, pp. 53–56.
26. Sochava, V.B. (1978), *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the doctrine of geosystems], Nauka, Novosibirsk, USSR.
27. Sochava, V.B. (2005), *Teoreticheskaya i prikladnaya geografiya* [Theoretical and applied geography], Selected works, Nauka, Novosibirsk, Russia.
28. Terent'eva, E.Yu. (2020), "Sezonnyj monitoring rastitel'nosti cherez summirovannye fenologicheskie harakteristiki fitocenzozov" [Seasonal monitoring of vegetation through summarized phenological characteristics of phytocenoses], *Aktual'nye problemy regional'nogo, geograficheskogo, ekologicheskogo i biologicheskogo obrazovaniya* [Current problems of regional, geographical, environmental and biological education], Ural GPU Publ., Ekaterinburg, Russia, pp. 116–117.
29. Turdalieva, B.S., Rahmatullaeva, N.U., Ten, V.B., Raushanova, A.M., Musaeva, B.A., Omarova, D.B. (2011), «Meta-analysis as a tool of evidence-based medicine», *Vestnik KazNMU* [Bulletin of the Kazakh national medical University], no. 4, pp. 99–105.
30. Utkina, I.A., Rubcov, V.V. (2013), "The interaction of phytophagous and forest plants as the object of a meta-analysis", *Lesnoj vestnik* [Forest Bulletin], no. 6, pp. 25–31.
31. Frolov, A.A., Cherkashin, A.K. (2012), "Altitudinal gradient as a complex factor in the formation of microtonality landscapes and seriation of geosystems", *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], no. 1, pp. 14–24.
32. Cherkashin, A.K. (1997), *Polisistemnyj analiz i sintez. Prilozhenie v geografii* [Polysystem analysis and synthesis. Application in geography], Nauka, Novosibirsk, Russia.
33. Cherkashin, A.K. (2014), "Geographical accuracy and features of metrological modeling of geospatial data", *Ukrains'kij metrologichnij zhurnal* [Ukrainian metrological journal], no. 2, pp. 7–15.
34. Cherkashin, A.K. (2020), "Theoretical and metatheoretic geography", *Geograficheskij vestnik* [Geographical bulletin], no. 1(52), pp. 7–21.
35. Cherkashin, A.K. (2020), "Hierarchical modeling of the epidemic risk of the spread of the new COVID-19 coronavirus", *Problemy analiza riska*, [Problems of risk analysis], vol. 17, no. 4, pp. 10–21.

Теоретическая география

Черкашин А.К.

36. Cherkashin, A.K., Solodyankina, S.I. (2011), "Modeling of the high-altitude structure of geomes in the Baikal region", *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], no. 2, pp. 141–148.
37. Arnquist, G., Wooster, D. (1995), Meta-analysis: synthesizing research findings in ecology and evolution, *TREE*, vol. 10, no. 6, pp. 236–240.
38. Clements, F. (1916), *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*, Carnegie institution of Washington, Washington.
39. Gates, S. (2002), Review of methodology of quantitative reviews using meta-analysis in ecology, *Journal of animal ecology*, vol. 71, pp. 547–557.
40. *Handbook of meta-analysis in ecology and evolution* (2013), J. Koricheva, J. Gurevitch, K. Mengersen (Eds.), Princeton university press, Princeton.
41. Kelley, G.A., Kelley, K.S. (2012), Statistical models for meta-analysis: A brief tutorial, *World journal of methodology*, vol. 2, no. 4, pp. 27–32.
42. Mayer, D. (2010), *Essential evidence-based medicine*, Cambridge university press, New York.
43. Zhilin, S.I. (2005), On fitting empirical data under interval error, *Reliable computing*, no. 11, pp. 433–442.

Поступила в редакцию: 11.09.2020

Сведение об авторе

About the author

Черкашин Александр Константинович

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией теоретической географии, Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН;
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: akcherk@irnok.net

Aleksander K. Cherkashin

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Theoretical Geography, V.B. Sochava Institute of Geography, SB RAS;
1, Ulan Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Черкашин А.К. Особенности географического мета-анализа // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2(57). С. 6–21. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-6-21.

Please cite this article in English as:

Cherkashin, A.K. (2021). Geographical meta-analysis and its features. *Geographical bulletin*. 2021. No. 2(57). Pp. 6–21. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-6-21.