

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ
ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПОНЯТИЙ**

Елена Григорьевна Ушакова¹ ✉, Мария Алексеевна Янишевская²

^{1, 2} Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

² Психологический институт РАО, Москва, Россия

¹ UshakovaEG@mgpu.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0001-5110-4537>

² y_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2036-2052>

Аннотация. Актуальность освоения школьниками культурных моделей и способов обращения с ними обусловлена их функциональным многообразием: с одной стороны, освоение культурных моделей является одним из средств формирования мышления учащихся; с другой стороны, моделирование выступает как один из способов естественно-научных исследований. Кроме того, модели служат средством, облегчающим учащимся понимание и представление сложных естественно-научных понятий. В связи с этим статья направлена на раскрытие содержательного аспекта освоения и использования моделирования как основного средства освоения естественно-научной картины мира и формирования естественно-научного мышления школьников. Ведущим методом в описываемом в данной статье исследовании являлся эксперимент, в рамках которого изучалась эффективность освоения культурного представления о причинах смены времен года на Земле (модели движения Земли вокруг Солнца и влияния наклона земной оси на процессы, происходящие на Земле). Выборка исследования включала 165 учащихся 7-го класса общеобразовательных школ. В качестве выборочных совокупностей выбраны два варианта освоения учащимися заданного понятия: через решение учебной задачи посредством моделирования в формате групповой работы (экспериментальная группа, 84 учащихся), через работу с текстом или с видеоматериалами (контрольная группа, 81 учащихся). В статье приводятся статистические данные результатов диагностики уровня освоения понятия основной и контрольной группами учащихся, показано несомненное, статистически значимое преимущество освоения понятия с помощью процедуры моделирования по сравнению с традиционными способами. Полученные данные также показывают, что учащиеся экспериментальной группы более успешно справляются с заданием,

требующим переноса усвоенного понятия в новую ситуацию. Разработанный авторами дизайн исследования позволяет определить наиболее эффективный подход к формированию естественно-научных понятий, а также наметить пути и методы дальнейшего исследования.

Ключевые слова: дидактические принципы, культурные модели, моделирование, освоение культурных представлений

Research Article

UDC 37.026

DOI: 10.25688/2076-9121.2021.58.4.09

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF MODELING WHILE MASTERING SCIENTIFIC CONCEPTS

*Elena G. Ushakova*¹ ✉, *Maria A. Yanishevskaya*²

^{1,2} Moscow City University, Moscow, Russia

² Psychological Institute of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia

¹ babaluba2007@yandex.ru ✉, <https://orcid.org/0000-0001-5110-4537>

² y_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2036-2052>

Abstract. The relevance of students' learning of cultural models and ways of dealing with them is due to their functional diversity: on the one hand, the development of cultural models is one of the means of shaping students' thinking, on the other hand, modeling acts as one of the ways of natural science research. Besides, models serve as a means to facilitate students' understanding and presentation of complex natural science concepts. In this regard, the article is aimed at revealing the substantive aspect of the development and use of modeling as the main means of mastering the natural science picture of the world and forming the natural science thinking of schoolchildren. The leading method in the study was a natural experiment, which investigated the effectiveness of the development of a cultural idea of the reasons for the change of seasons on Earth (models of the Earth's movement around the Sun and the effect of the inclination of the Earth's axis on processes taking place on Earth). The study sample included 167 students in the 7th grade of general education schools. As sample sets, two options for students to master the given concept were chosen: through solving the educational problem through modeling in the format of group work (experimental group, 88 students), through working with text or with video materials (control group, 79 students). The article provides statistical data on the results of diagnostics of the level of mastery of the concept of basic and control groups of students, shows the undeniable, statistically significant advantage of mastering the concept using a modeling procedure compared to traditional methods. The students of the experimental group are also more successful in completing the task requiring the transfer of the learned concept to a new situation. The research design developed by the authors makes it possible to determine the most effective approach to the formation of natural science concepts, as well as outlines ways and methods of further research.

Keywords: didactic principles, cultural models, modeling, mastery of the cultural understanding

Для цитирования: Ушакова Е. Г., Янишевская М. А. Сравнительное исследование эффективности использования моделирования при освоении естественнонаучных понятий // Вестник МГПУ. Серия «Педагогика и психология». – 2021. – № 4 (58). – С. 160–179. – DOI: <https://doi.org/10.25688/2076-9121.2021.58.4.09>

Citations: Ushakova, E. G., & Yanishevskaya, M. A. (2021). Comparative study of the efficiency of the use of modeling while mastering scientific concepts. *MCU Journal of Pedagogy and Psychology*, 4(58), 160–179. <https://doi.org/10.25688/2076-9121.2021.58.4.09>

Введение

Проблема использования моделирования в изучении естественных наук имеет несколько основных аспектов исследования:

- как один из аспектов формирования глобального мышления, и в частности как способ освоения естественно-научной картины мира (Sarwil et al., 2018, p. 1–6);

- как специфическая технология освоения навыков исследования в естественных науках, в том числе через интерпретацию математических записей и математического описания процессов в естественных науках;

- как то, что облегчает понимание студентами и учащимися сложных естественно-научных понятий, иллюстрирует и проясняет сложные процессы и явления;

- как то, что обеспечивает адекватный переход к цифровым моделям и качество онлайн-обучения.

Философский и культурологический аспект освоения естественно-научных моделей отражен в достаточно большом количестве текстов: «Основанный на моделях взгляд на естественно-научное образование, который стремится к аутентичности в преподавании естественных наук, в настоящее время ищет поддержки со стороны философских позиций, связанных с семантическим взглядом на теории (SVT). Эти последние достижения являются многообещающими шагами на пути к созданию прочной философской основы, но они нуждаются в пересмотре, поскольку предназначены для применения в физике и физическом образовании. Здесь предполагается, что в физическом образовании внимание должно быть направлено на понятие эмпирической надежности моделей и моделирования, а также на методологический вопрос о том, как эмпирическая надежность устанавливается в процессе согласования теории и эксперимента» (Koronen, 2007, p. 751–773).

Кроме непосредственных проблем формирования содержательного и аксиологического аспектов мышления ученых, формирование модельного мышления рассматривается как проблема общекультурного значения, то есть как проблема формирования адекватного, конструктивного мышления у всех без исключения учащихся.

При этом проблематика использования моделирования в образовании имеет проекцию и на другие системные аспекты: важнейшей из проблем является

проблема формирования модельного мышления у будущих учителей, преподавателей физики и естествознания (Emelyanova et al., 2017, p. 700–714; Portugal et al., 2021, p. 1–6; Treagust et al., 2017, p. 1–6; Sari, 2017, p. 1–6).

Но, разумеется, основной акцент в освоении культурных моделей и способов манипулирования с ними переносится на проблему формирования мышления студентов естественно-научных специальностей и учащихся, осваивающих естественные науки в школе (Şengören, & Çoban, 2020, p. 1–6; Weber, & Wilhelm, 2020, p. 1–18; Bushmeleva et al., 2020, p. 529–545). При этом обсуждаются проблемы освоения не только пространственных (топических) моделей в физике или химии, но и математические модели — как цифровые модели (двойники), так и инструменты анализа процессов, происходящих в реальных экспериментах и исследованиях.

Прикладное значение моделей обсуждается также во многих изданиях (Izmuddin et al., 2020, p. 1–9; Dounas-Frazer, & Lewandowski, 2018, p. 1–6; Mayer, 2016, p. 239–247). Здесь подчеркивается аспект упрощения и визуализации для обеспечения понимания студентами и учащимся сложных научных понятий и процессов. Цифровые модели в данном случае понимаются в первую очередь как удобные объекты для манипуляций школьников и студентов, отражающие основные аспекты изучаемого объекта, а не как цифровые двойники реального объекта, предназначенные для исследования свойств оригинала (Vachkova et al., 2021, p. 1–14).

В нашей статье мы рассматриваем содержательный аспект освоения и использования моделирования как основного элемента технологии исследования в естественных науках (Агапов и Львовский, 2020, с. 73–83), в том числе интерпретацию математических записей и математического описания процессов в естественных науках (Евстигнеева и др., 2020, с. 16–19). Многие зарубежные и отечественные ученые отмечают падение культуры исследования у учащихся не только общеобразовательных школ (Pucholt, 2020, p. 1–6), но и профильных факультетов вузов и корреляцию этого падения с отсутствием навыков моделирования и мысленного экспериментирования у учащихся (Alis et al., 2020, p. 55–59; Gaydarova et al., 2019, p. 1–6; Каримов и Шакриев, 2019, с. 102–104).

Методологические основания и методы

1. Моделирование как способ освоения понятий.

Две основные проблемы формирования мышления, которые решаются, в частности, в начальной школе, отражены в работах Ж. Пиаже:

1) Проблема преодоления мифологического сознания: «проблема, которую мы изучаем, <...> каковы у детей представления о мире, которые спонтанно складываются на разных этапах их интеллектуального развития? Есть два основных аспекта этой проблемы. Это, с одной стороны, вопрос о модальности детской мысли: в каких плоскостях реальности движется эта мысль? Другими

словами, имеет ли ребенок, как и мы, веру в реальный мир и отличает ли он эту веру от различных вымыслов своей игры или своего воображения? В какой степени ребенок отличает внешний мир от внутреннего или субъективного мира, и каков разрыв между его “я” и объективной реальностью?» (Piaget, 1947, p. 5–30).

2) Проблема формирования способности объяснять исходя, с одной стороны, из формально-логических оснований и, с другой — оснований внутренней логики отношений в понятийных естественно-научных комплексах. «Второй фундаментальный вопрос связан с вопросом объяснения у детей. Как ребенок использует понятия причины и закономерности? Какова структура детского объяснения причин?» (Piaget, 1947, p. 5–30).

Решение первой проблемы идет по двум направлениям: с одной стороны, путем обнаружения дефицитов суждений, опирающихся на мифологические представления, а с другой стороны, путем освоения культурных естественно-научных понятий (Агапов и др., 2019, 304 с.).

Основной способ обеспечения освоения понятий при этом — обеспечение коммуникации между детьми и между детьми и взрослыми, поскольку понятие — это, по сути, то, что появляется в коллективном субъекте в результате «понимающей» коммуникации (Shchedrovitskiy, 2019, p. 225–232).

Решение второй проблемы (способности суждения) связано в первую очередь с освоением детьми формально-логических операций (таких как инверсия, дизъюнкция, конъюнкция, обобщение понятий, ограничение понятий, исключение «или») и с освоением базовых теоретических естественно-научных понятий, таких как «явление» (на примере бытовых и природных явлений), «система» (на примере природных зон и природных комплексов), «модель» (на примере моделей, которые создаются детьми для объяснения природных явлений) (Львовский и др., 2021, с. 42–46).

Освоение этих базовых понятий и представлений происходит за счет освоения процедуры моделирования (Агапов и Львовский, 2020, с. 73–83), которая заключается в вычленении в каждом анализируемом явлении основных содержательных связей между элементами, характера их отношений и описания основных процессов, происходящих в системе. Связи и отношения между элементами системы, в свою очередь, обнаруживаются и исследуются посредством задания/обнаружения граничных условий существования этих отношений и обнаружения закономерностей изменения связей между элементами при изменении параметров системы (усиления/ослабления связей, введения/устранения новых элементов, изменения формы элементов и значения величин, их характеризующих, и т. д.).

При этом основная рамка на учебное взросло-детское взаимодействие в начальной школе обеспечивается формулировкой и постановкой учебной задачи (Львовский, 2014, с. 123–126), которая, с одной стороны, обеспечивает понимание решаемой проблемы, а с другой — обеспечивает поле манипуляций (реальных или в форме мысленного эксперимента). При этом основная задача

динамики освоения навыков моделирования заключается в постепенном переходе от прямых, непосредственных манипуляций с объектами (элементами системы) к мысленному эксперименту, который в предельном своем воплощении и является основанием естественно-научного суждения.

В основной школе акценты смещаются — на первый план выходит освоение следующих культурных моделей естествознания и основных технологий мышления:

- постановки задачи и вопрошания;
- анализа;
- моделирования (в том числе математического);
- естественно-научного исследования.

Содержание образования разворачивается при этом возле основных содержательных линий.

Например, в школьной физике основные содержательные линии, — это:

- пространственно-временное описание физических явлений и процессов;
- силовой способ описания явлений как средство управления, прогнозирования, конструирования;
- энергетический способ описания явлений как средство управления, прогнозирования, конструирования;
- представление о дискретном строении материи и полях как основание теоретического описания, объяснения и прогноза явлений и построения теорий.

Интеллектуальные навыки и представления, полученные в младшем подростковом возрасте, в основной школе приобретают новое значение, а именно:

- локальные понятийные комплексы, сформированные на предыдущем этапе, начинают складываться в единую картину мира, что требует способности теоретического обобщения и переноса (Воронцов и Львовский, 2020, с. 83–94);
- способности суждения требуют теперь не частные явления, а глобальные процессы, явления, культурные модели.

2. Позиционирование моделирования в образовании.

Как, каким образом моделирование позиционировано (может быть позиционировано) в деятельностном подходе в образовании? В первую очередь как способ схватывания и удержания понятия.

Модель в нашем понимании, как уже говорилось, это то, с помощью чего удерживается, фиксируется основное отношение между элементами системы. Путем моделирования (как процедуры) это основное отношение обнаруживается и удерживается. Манипуляции, которые модель позволяет с собой прodelывать, позволяют определить свойства и границы этого основного отношения.

Элементы системы, отношение между которыми удерживает модель, — это те понятия, на которые мы направляем, фокусируем наше внимание.

Изучая возможности модели как объекта манипуляций, мы продвигаемся в освоении понятий — от простых, базовых к сложным, которые являются результатом образования комплексов понятий, и к «метaponятиям», выражающим переход на более высокий уровень обобщения.

Например, рассматривая явление плаванья тел в жидкости, мы фиксируем свое внимание на отношении массы тела и его объема, которое, с одной стороны, дает нам возможность прогнозировать поведение тела в жидкости, а с другой — задает нам понятие плотности (средней плотности тела), которое обладает значительно большей степенью обобщения и охватывает гораздо большее количество явлений, чем те, что непосредственно связаны с исходным явлением.

В этом случае мы имеем возможность получить движение (развитие) понятия, что, собственно, и является необходимым условием освоения любого теоретического понятия (Давыдов, 2000, с. 488; Нежнов, 2016, с. 164–171).

И это движение определяет второе представление о моделировании как о «снятой», превращенной форме деятельности.

В таком залоге, залоге обеспечения движения, разворачивания, развития понятия, моделирование как процесс приобретает совсем другой статус и иное значение.

Только захватив достаточно широкие культурные контексты, которые удерживали бы в себе не только разные формации понятия, но и кризисные, переломные точки перехода от одной формации к другой, можно обеспечить разворачивание понятия¹ (Мах, 2000, р. 456; Стевин, 1932, с. 140, Щетников, 1994, с. 232).

В этом случае моделирование не просто становится формой обращения к генезису порождения понятия в культуре через воспроизводство деятельности по его порождению — оно само становится элементом деятельности.

3. Описание эксперимента.

Нами была проведена экспериментальная проверка эффективности освоения базовых естественно-научных понятий через моделирование по сравнению с классическими способами (с помощью учебного текста и просмотра видеоконтента) (рис. 1).

Основная экспериментальная группа учащихся решала проектную задачу с использованием моделирования в формате групповой работы. Учащиеся контрольной группы читали тексты из учебников или просматривали специально подобранный видеоконтент и отвечали на вопросы к тексту/видео в индивидуальном режиме.

Учебный материал, который используется в исследовании (причины смены времен года на Земле), был выбран не случайно. Во-первых, он достаточно

¹ В научной литературе достаточно подробно описаны реальные и мысленные эксперименты, использующие модели, в результате которых появлялись такие классические понятия, как плотность, работа и т. п.



Рис. 1. Дизайн эксперимента

Fig. 1. Experiment design

актуален, поскольку является программным материалом и отражает естественно-научные представления о строении Вселенной, и в частности Солнечной системы.

Во-вторых, модель Солнечной системы, которая воспроизводится в эксперименте, и ее свойства достаточно компактны и просты в понимании.

В третьих, изучаемая модель позволяет проводить с собой большой спектр манипуляций, вполне доступный учащимся 7-х классов.

Наши ожидания более высокой эффективности освоения представления о причинах смены времен года на Земле мы обосновывали следующим образом: представление о причинах смены времен года на Земле — это модельное представление. Для того чтобы точно понимать причинно-следственные связи этого явления, необходимо удерживать в сознании структурные представления о взаимосвязи элементов Солнечной системы (Солнца и Земли, ось которой наклонена к плоскости эклиптики) в их динамическом отношении.

Очевидно, что если у учащихся в практике нет опыта использования такого рода моделей, то самостоятельно построить в воображении такую модель, и тем более понять ее, на функциональном уровне они не смогут. В лучшем случае они запомнят определение и смогут ответить на вопросы, заданные в рамках такого определения.

Чтобы модель такого типа была освоена учащимися, необходимо модельно, деятельностно воспроизвести соотношения между ее элементами (Ушакова, 2021, с. 66–70).

Для этого недостаточно просто показать учащимся, как освещаются разные участки планеты в разные моменты движения вокруг Солнца (например,

на теллурии). Чтобы актуализировать связи между объектами во всей полноте, необходимо произвести «сдвигку» ключевых соотношений, ключевых условий и рассмотреть происходящие в системе изменения, связанные с этими «сдвигками». Только такой подход позволит обнаружить истинное значение связей между элементами.

В нашем эксперименте учащимся предлагалось рассмотреть систему Земля – Солнце с одним измененным условием — наклоном земной оси к плоскости эклиптики. В первом случае угол наклона составил 90° к плоскости эклиптики (задача 4.1 входной и итоговой диагностик). Во втором случае угол составил 0° к плоскости эклиптики, то есть ось лежит в плоскости эклиптики (задача 4.2 входной и итоговой диагностик). При этом сюжет учебной задачи находится в более широком контексте, чем, собственно, геометрическое значение модели: требуется обнаружить изменения, которые произойдут в развитии биосферы и человеческой цивилизации при таком изменении наклона земной оси.

При этом совершенно необязательно детально прорабатывать содержание предлагаемой задачи. Достаточно просто через проблематизацию обнаружить прямую связь между пространственно-топологическими параметрами модели и последствиями изменения ключевого условия.

Далее, принципиально важной является процедура переноса полученных модельных представлений на стандартную ситуацию (задача 5 итоговой диагностики). Это необходимо по нескольким соображениям: с одной стороны, принципиально важно, чтобы учащиеся поместили ситуацию с существующим наклоном земной оси ($22,4^\circ$ к вертикали) в общий ряд возможных ситуаций, расширив тем самым свое представление о модели. Кроме того, нужно, чтобы произошла привязка существующих закономерностей развития биосферы Земли и особенностей развития человеческой цивилизации к топологии модели. И, в-третьих, необходимо вернуться к программному материалу, теперь по-новому понятому и представленному.

В рамках нашего эксперимента такой «возврат» еще важен и потому, что у учащихся контрольной группы в тексте и в видеоматериалах были прямые комментарии и указания к решению этой проблемы (проблеме зависимости развития биосферы и человеческой цивилизации от угла наклона планетарной оси).

Вот текст задачи, которую решали учащиеся основной экспериментальной группы на основном этапе эксперимента — этапе освоения понятия:

«Представьте, что земная ось лежит в плоскости эклиптики (в плоскости вращения Земли вокруг Солнца (рис. 2), при этом не меняет свой угол по отношению к исходному положению, как на рисунке 3.

Как такое положение земной оси повлияло бы на развитие биосферы Земли и на развитие земной цивилизации? Дайте максимально развернутый ответ (опишите как можно больше явлений, связанных с этим). В частности, ответьте на вопросы:

— Как бы происходила смена времен года на планете в течение года в этом случае?



Рис. 2. Изменение наклона земной оси (иллюстрация к задаче)

Fig. 2. Changing the inclination of the earth's axis (illustration to the task)

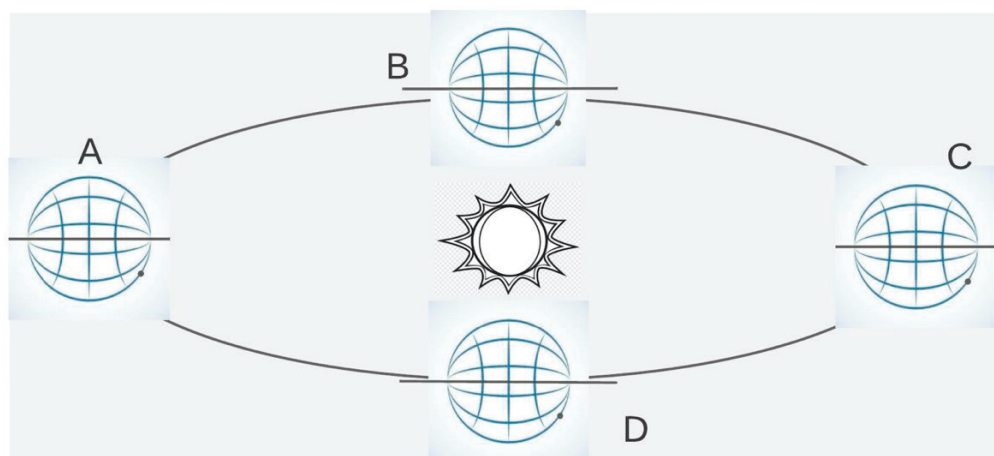


Рис. 3. Вращение Земли вокруг Солнца в соответствии с условиями задачи (иллюстрация к задаче)

Fig. 3. Rotation of the Earth around the Sun in accordance with the conditions of the problem (illustration for the problem)

- Как бы располагались климатические пояса на планете?
- Как бы люди могли использовать такие климатические преимущества / преодолевать такие климатические неудобства?

Подготовьте плакат и короткое сообщение. Приготовьтесь задать вопросы участникам других групп».

4. Режимы и регламенты эксперимента. Система оценки результатов входной и итоговой диагностик. Анализ результатов эксперимента.

Задания входной и итоговой диагностик соответствовали требованиям трехуровневой диагностики по типу SAM (Student Achievements Monitoring)

(Нежнов, 2016, с. 164–171; Nezhnov, 2011, р. 85–98). Первое и второе задания входной и итоговой диагностик соответствовали первому (формальному) уровню SAM, третье задание — второму (рефлексивному) уровню, а задания 4.1, 4.2 и задание 5 итоговой диагностики — третьему (функциональному) уровню.

Для того чтобы получить более детализированную оценку выполнения задания третьего уровня, их оценивание производилось следующим образом: каждый первый верный ответ (суждение, замечание) оценивался в 10 баллов, все последующие — в 2 балла.

Для обеспечения валидности экспериментальных данных входные параметры для контрольной и основной (экспериментальной) групп были максимально выровнены:

- каждая группа учащихся делилась на две равные по численности части — на контрольную и основную (экспериментальную) подгруппы, причем критерием деления было равенство (с возможным отклонением, не превышающим 3 %) среднего значения отношения количества решенных задач входной диагностики ко времени, затраченному на его выполнение:

$$\left(\frac{N}{t}\right)_K = \left(\frac{N}{t}\right)_K,$$

- время, отведенное учащимся на освоение понятий в разных подгруппах, было выровнено: выполнение задания для контрольных групп учащихся (просмотр видеофильмов или чтение текста с последующим выполнением задания) требовало того же времени, что и выполнение задания учащимися основной экспериментальной группы — 60 минут.

Выравнивание исходных условий проведения эксперимента для контрольной и основной (экспериментальной) подгрупп позволило получить достоверные, пригодные для анализа данные.

В ходе анализа результатов эксперимента производилось сравнение средних значений количества решенных задач и баллов, полученных в задачах третьего (функционального) уровня в итоговой диагностике.

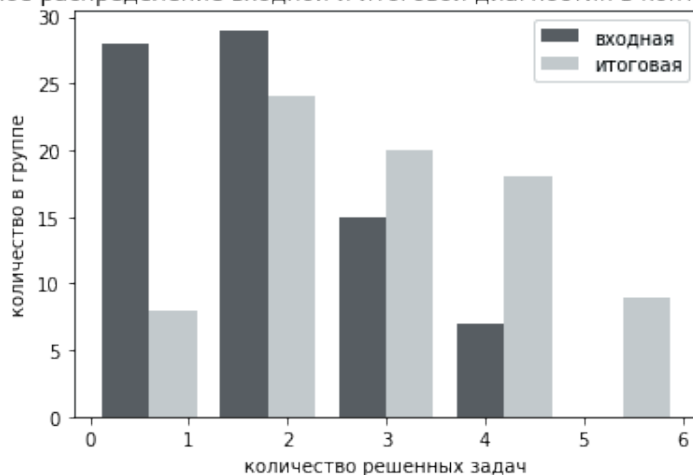
Для визуализации динамики результатов освоения понятия в контрольной и основной группах были построены диаграммы нормального распределения.

Результаты эксперимента

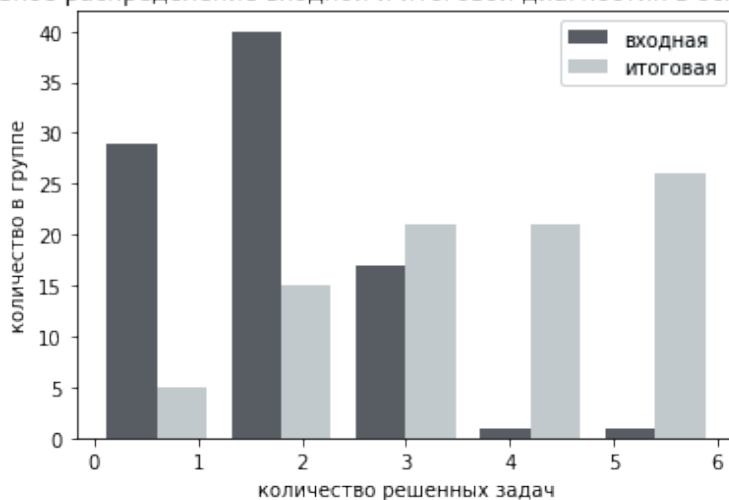
Результаты эксперимента в виде диаграммы нормального распределения (общее количество решенных задач во входной и итоговой диагностиках) приведены на рисунках 4 и 5 (на рисунке 4 — для контрольной группы учащихся, на рисунке 5 — для основной).

По оси x — количество решенных задач входной и итоговой диагностик. Во входной диагностике было 5 задач (1, 2, 3, 4.1 и 4.2). Итоговая диагностика отличалась от входной тем, что в нее была добавлена задача 5 (шестая по счету).

Нормальное распределение входной и итоговой диагностик в контрольной группе

*Рис. 4. Динамика выполнения диагностик в контрольной группе**Fig. 4. Dynamics of diagnostics in the control group*

Нормальное распределение входной и итоговой диагностик в основной группе

*Рис. 5. Динамика выполнения диагностик в основной группе**Fig. 5. Dynamics of diagnostics in the main group*

Если на старте структура распределения в контрольной и основной (экспериментальной) группах совпадают и по своей форме приближаются к нормальному распределению, то после проведения эксперимента видны различия в форме диаграмм.

В контрольной группе замечен акцент на выполнение заданий 1 уровня SAM (Нежнов, 2016, с. 164–171; Nezhnov, 2011, р. 85–98) с дальнейшим понижением количества выполненных заданий второго и третьего уровней.

Для основной (экспериментальной) группы, которая осваивала понятие через моделирование ситуации в формате групповой работы, характерно постепенное повышение количества выполненных заданий второго и третьего (рефлексивного и функционального) уровней.

Общие средние статистические данные приведены на рисунке 6, где 0 — среднее количество решенных задач во входной диагностике, деленное на время, затраченное на их решение; 1 — среднее количество баллов, полученных за задачу 4.1 во входной диагностике; 2 — среднее количество баллов, полученных за задачу 4.2 во входной диагностике; 3 — среднее количество задач, решенных в итоговой диагностике; 4 — среднее количество баллов, полученных за задачу 4.1 в итоговой диагностике; 5 — среднее количество баллов, полученных за задачу 4.2 в итоговой диагностике; 6 — среднее количество баллов, полученных за задачу 5 в итоговой диагностике.

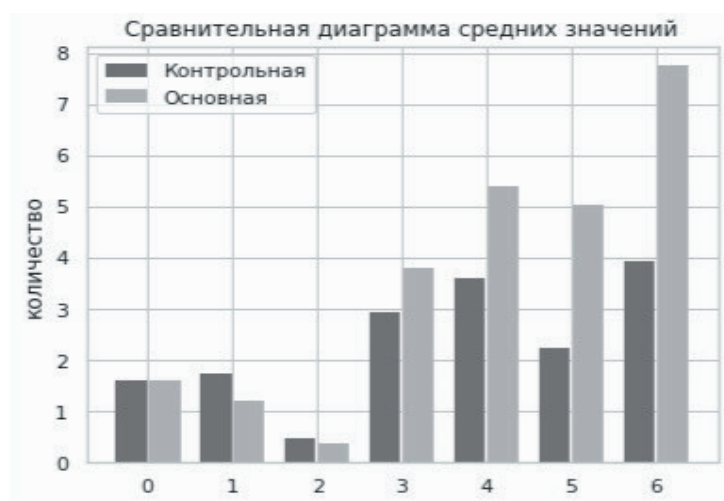


Рис. 6. Общие статистические данные результатов эксперимента

Fig. 6. General statistics of experimental results

Обращает на себя внимание тот факт, что при равных стартовых условиях качество выполнения итоговой диагностики значительно выше в основной экспериментальной группе. Среднее количество баллов, полученных учащимися основной группы за задачу 5 (которая является ключевой в оценке сформированности представлений о причинах смены времен года на Земле и последствиях величины угла наклона земной оси на развитие жизни на Земле), в основной группе превышает на 49 % (почти в два раза) среднее количество баллов, полученное учащимися контрольной группы. При этом задача 5 является задачей третьего уровня по SAM и отражает понимание рассматриваемого явления на уровне переноса с уже освоенной ситуации на ситуации, охватывающие определенный класс задач:

«Как существующий наклон земной оси (отклонение от вертикали составляет 23,44°) повлиял на развитие жизни на Земле? На развитие человеческой

цивилизации? Дайте максимально подробный ответ (перечислите как можно больше явлений, закономерностей), проиллюстрируйте свой ответ (при необходимости) рисунками, схемами и диаграммами».

Дискуссионные вопросы

Основные вопросы, которые остались нераскрытыми в нашем исследовании и не отражены в нашей статье, таковы:

— в исследовании в качестве контрольного действия для освоения рассматриваемого понятия было использовано чтение текста учебника или просмотр видеоматериалов, но не рассматривалась ситуация, когда учитель на уроке, в режиме фронтальной работы обсуждает поставленную проблему с учащимися.

Мы исключили такой формат освоения понятия из исследования на первом шаге, поскольку достаточно сложно технологизировать такой эксперимент, так как арсенал технических средств у педагогов различен — соответственно, трудно регламентировать, что может и что не может использовать педагог для такого вида работы.

Кроме того, мы убеждены, что активное включение учителя в такого рода работу только ухудшит показатели контрольной группы (и, соответственно, улучшит относительные показатели основной экспериментальной группы), поскольку учитель в большинстве случаев только создает дополнительный смысловой шум, никак не работая с пониманием учащихся.

Тем не менее на следующем шаге имеет смысл спроектировать и провести такое сравнительное исследование:

— в исследовании не были использованы в качестве контрольных электронные модели (как интерактивные, в которых можно менять угол наклона земной оси, так и демонстрационные, которые можно просто рассматривать). Сравнительное исследование эффективности электронных и реальных моделей мы также намерены провести на следующем шаге;

— основным же дискуссионным вопросом по-прежнему остается общий вопрос о самой возможности проведения валидного исследования в педагогике — его условия, требования к исполнителям, к составу выборки учащихся или учителей и т. п. Лишь в некоторых статьях, на этапе анализа нами были обнаружены попытки постановки и анализа эксперимента (Mayer, 2016, p. 239–247). В остальных же текстах авторы ограничиваются качественным описанием феноменов, опросом респондентов и косвенной статистикой (формальной успеваемостью, например).

Заключение

В ходе проведенного исследования нам удалось показать несомненное, статистически значимое преимущество освоения понятия с помощью процедуры моделирования по сравнению с традиционными способами.

При этом становится очевидным не только общий дизайн подобного рода исследований, но и требования к структуре и содержанию учебной задачи, которую необходимо ставить перед учащимися для достижения максимального эффекта понимания и освоения культурной модели.

Нам представляется, что проведенный нами эксперимент в большой степени можно считать достоверным и результаты его — вполне валидными, хотя некоторые моменты этого исследования могут быть предметом дискуссии. При этом становится вполне очевидным, какого рода исследования в выбранном нами направлении мы должны реализовать на следующем шаге.

Список источников

1. Sarwil S., Ellianawati E., Suliyanah. Grounding physics and its learning for building global wisdom in the 21st century. A systematic review // *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1171. 2018. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012001>
2. Koponen I. T. Models and Modelling in Physics Education: A Critical Reanalysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions. A systematic review // *Science & Education*. 2007. Vol. 16 (7). P. 751–773. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9000-7>
3. Emelyanova I., Teplyakova O., Boltunova L. The students' research competences formation on the master's programmes in pedagogy. A systematic literature review // *European journal of contemporary education*. 2017. Vol. 6. № 4. P. 700–714. DOI: <https://doi.org/10.13187/ejced.2017.4.700>
4. Portugal K. O., Arruda S., Passos M. M. Strands of Science Teaching. A Tool for the Analysis of Science Teaching Venues. A systematic review // *Science & Education*. 2021. № 1. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00213-2>
5. Treagust D., Duit R., Fischer H. Multiple Representations in Physics Education (Models and Modeling in Science Education Book 10). MMSE. 2017. Vol. 10. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5>
6. Sari I. M. What do they know about Heat and Heat Conduction? A case study to excavate Pre-service Physics Teachers' Mental Model in Heat and Heat Conduction. A systematic review // *Journal of Physics: Conference Series*. Volume 812, International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Science Education. 2016. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012090>
7. Şengören S. K., Çoban A., Büyükdede M. Physics teacher candidates' awareness of idealizations used in mathematical models. A systematic review // *European Journal of Physics*. Vol. 42. № 1. 2020 P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb56d>
8. Weber J, Wilhelm T. The benefit of computational modelling in physics teaching: a historical overview. A systematic literature review // *European Journal of Physics, Focus on Modelling in Physics*. 2020. Vol. 41. № 3. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab7a7f>
9. Bushmeleva N., Isupova N., Mamaeva E. et al. Peculiarities of engineering thinking formation using 3d technology. A systematic literature review // *European journal of contemporary education*. 2020. Vol. 9. № 3. P. 529–545. DOI: <https://doi.org/10.13187/ejced.2020.3.529>
10. Izmuddin I. Digital Based Education Through Econophysical Modeling. A systematic review / I. Izmuddin, P. Harahap, Awaluddin et al. // *Journal of Physics: Conference*

Series. Vol. 1779. 2nd Bukittinggi International Conference on Education (BICED). 2020. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1779/1/012032>

11. Dounas-Frazer D., Lewandowski H J. The Modelling Framework for Experimental Physics: description, development, and applications. A systematic literature review // *European Journal of Physics*. 2018. Vol. 39. № 6. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aae3ce>

12. Mayer R. V. Computer Model of the Empirical Knowledge of Physics Formation: Coordination with Testing Results. A systematic review // *European Journal of Contemporary Education*. 2016. Vol. 16. Is. 2. P. 239–247. DOI: <https://doi.org/10.13187/ejced.2016.16.239>

13. Vachkova S. N. School in digital age: how big data help to transform the curriculum. A systematic literature review / S. N. Vachkova, E. Y. Petryaeva, R. B. Kupriyanov et al. // *Information (Switzerland)*. 2021. Vol. 12. № 1. P. 1–14. DOI: <http://doi.org/10.3390/info12010033>

14. Агапов А. М., Львовский В. А. Диссеминация опыта внедрения и сопровождения деятельностных образовательных практик // *Тенденции развития образования. Эффективность образовательных институтов: мат-лы XVI Ежегодной междунар. науч.-практ. конф. М.: Дело (РАНХиГС), 2020. С. 73–83. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42379910>*

15. Евстигнеева И. А., Трухина А. А., Ушакова Е. Г. Создание образовательных сред как современная технология в образовании // *Современные тенденции развития системы образования: сб. мат-лов Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары: Среда, 2020. С. 16–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43057037>*

16. Pucholt Z. Effectiveness of simulations versus traditional approach in teaching physics. A systematic review // *European Journal of Physics*. 2020. Vol. 42 (1). P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb4ba>

17. Alis J. C., Perez D. G., Fernandes I. Hacia una imagen no deformada de la actividad científica. A systematic literature review // *Endoxa*. 2020. № 46. P. 55–59. DOI: <https://doi.org/10.5944/endoxa.14.2001.5026>; URL: https://redib.org/Record/oai_articulo1118089-hacia-una-imagen-deformada-de-la-actividad-cient%C3%ADfica

18. Gaydarova M., Kotseva I., Hoxha F. Models and modeling in physics education. A review conference: 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union. 2019. Vol. 2075. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5091419>

19. Каримов М. Ф., Шакиров В. Р. Физико-математическое моделирование объектов, процессов и явлений природной и технической действительности учащимися общеобразовательной школы // *Международный научный журнал: Символ науки*. 2019. № 1. С. 102–104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36940701>

20. Piaget J. La représentation du monde chez l'enfant. Introduction. Les problèmes et le méthodes. // *Tre d'introduction à l'ouvrage sur la représentation du monde chez l'enfant*. 3e édition identique, PUF, Alcan, 1947. P. 5–30. http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP_26_repres_monde_intro.pdf

21. Агапов А. М. Деятельностный подход в образовании: в 3 кн. / А. М. Агапов, А. М. Аронов, Е. А. Асонова и др. М.: МГПУ, 2019. Кн. 2. 304 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39322263>

22. Shchedrovitskiy P. G. The Activity Theory in Soviet Philosophy and Psychology in the 1960s-1980s // *Philosophical Thought in Russia in the Second Half of the Twentieth*

Century: A Contemporary View from Russia and Abroad. New York; London; Oxford; New Delhi; Sydney: Bloomsbury Academic, 2019. Ch. 15. P. 225–232. URL: <https://www.bloomsbury.com/us/philosophical-thought-in-russia-in-the-second-half-of-the-twentieth-century-9781350040601>

23. Львовский В. А., Янишевская М. А., Якушина Е. В. Деятельностный подход к обучению предметам естественно-научного цикла — залог формирования у обучающихся навыков, необходимых в реальной жизни // Медиа. Информация. Коммуникация. 2021. № 36. С. 42–46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45788254>

24. Львовский В. А. На пути к учебному предмету «физика» // Физическое образование: проблемы и перспективы развития. 2014. С. 123–126. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36344036>

25. Воронцов А. Б., Львовский В. А. Новые проекты развивающего обучения // Психологическая наука и образование. Т. 25. № 5. 2020. С. 83–94. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43944353>

26. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении: логико-психологические проблемы в построении учебных предметов. М: Педагогическое общество России, 2000. 488 с.

27. Нежнов П. Г. Психологические проблемы оценки образовательных результатов // Развитие теории и практики учебной деятельности: научная школа В. В. Давыдова: монография по мат-лам Междунар. сетевой науч. конф. Волгоград: Перемена, 2016. С. 164–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28346164>

28. Ушакова Е. Г. Образовательные события как формат освоения предметного содержания // Учитель Алтая. 2021. № 1 (6). С. 66–70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45662563>

29. Nezhnov P. SAM — toolkit to assess primary school students' academic achievements. A systematic review // CADMO. 2011. Т. 19. Vol. 1. P. 85–98. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16988514>

30. Мах Э. Механика. Историко-критический очерк ее развития / под ред. Н. А. Гезехуса. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000. 456 с. URL: chrome-extension://oemmnndcblldboiebfnladdacbfidnadadm/http://inis.jinr.ru/sl/vol2/Physics/Classic%20Mechanics/%D0%9C%D0%B0%D1%85%20%D0%AD,_%20%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0,%202000.pdf

31. Стевин С. Начала гидростатики // Начала гидростатики. Стевин, Архимед, Паскаль, Галилей: сб. ст. М.: ГТТИ, 1932. 140 с.

32. Щетников А. И. Мысленный эксперимент и рациональная наука. М. Аспект-пресс, 1994. 232 с. ISBN 5-86318-020-X

References

1. Sarwil, S., Ellianawati, E. & Suliyanah (2019). Grounding physics and its learning for building global wisdom in the 21st century. *Journal of Physics: Conference Series, Seminar Nasional Fisika* (SNF, 2018) 11 August 2018, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia, 1171, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012001>

2. Koponen, I. T. (2007). Models and Modelling in Physics Education: A Critical Re-analysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions. *Science & Education*, 16(7), 751–773. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9000-7>

3. Emelyanova, I., Teplyakova, O. & Boltunova, L. (2017). The students' research competences formation on the master's programmes in pedagogy. *European journal of contemporary education*, 6(4), 700–714. <https://doi.org/10.13187/ejced.2017.4.700>
4. Portugal, K. O., Arruda, S. & Passos, M. M. (2021). Strands of Science Teaching. A Tool for the Analysis of Science Teaching Venues. *Science & Education*, 1, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00213-2>
5. Treagust, D., Duit, R. & Fischer, H. (2017). Multiple Representations in Physics Education. Models and Modeling in Science Education. *MMSE: Multiple Representations: Focus on Models and Analogies*, 10, 1–22. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5>
6. Sari, I. M. (2016). What do they know about Heat and Heat Conduction? A case study to excavate Pre-service Physics Teachers' Mental Model in Heat and Heat Conduction. *Journal of Physics: Conference Series, International Seminar on Mathematics, Science, and Computer Science Education (MSCEIS 2016)*, 15 October 2016, Bandung, Indonesi, 812, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012090>
7. Şengören, S. K., Çoban, A. & Büyükdede, M. (2020). Physics teacher candidates' awareness of idealizations used in mathematical models. *European Journal of Physics*, 42(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb56d>
8. Weber, J. & Wilhelm, T. (2020). The benefit of computational modelling in physics teaching: a historical overview. *European Journal of Physics, Focus on Modelling*, 41(3), 1–18. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab7a7f>
9. Bushmeleva, N., Isupova, N., Mamaeva, E., & Kharunzheva, E. (2020). Peculiarities of engineering thinking formation using 3d technology. *European journal of contemporary education*, 9(3), 529–545. <https://doi.org/10.13187/ejced.2020.3.529>
10. Izmuddin, I., Harahap, P., Awaluddin, Syafitri, W., & Imamuddin, M. (2020). Digital Based Education Through Econophysical Modeling. *Journal of Physics: Conference Series, 2nd Bukittinggi International Conference on Education (BICED 2020)*, 14–15 September 2020, BukitTinggi, West Sumatera, Indonesia, 1779, 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1779/1/012032>
11. Dounas-Frazer, D., & Lewandowski, H. J. (2018). The Modelling Framework for Experimental Physics: description, development, and applications. *European Journal of Physics*, 39(6), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aae3ce>
12. Mayer, R V. (2016). Computer Model of the Empirical Knowledge of Physics Formation: Coordination with Testing Results. *European Journal of Contemporary Education*, 16(2), 239–247. <https://doi.org/10.13187/ejced.2016.16.239>
13. Vachkova S. N., Petryaeva E. Y., Kupriyanov R. B., & Suleymanov R. S. (2021). School in digital age: how big data help to transform the curriculum. *Information (Switzerland)*, 12(1), 1–14. <http://doi.org/10.3390/info12010033>
14. Agapov, A. M., & Lvovsky, V. A. (2020). Dissemination of the experience of implementation and support of activity-based educational practices. Trends in the development of education. *The effectiveness of educational institutions: Materials of the XVI Annual International Scientific and Practical Conference*, February 14–16, 2019, Moscow: RANEPa, Russia. Moscow: Publishing House “Delo” RANEPa, 73–83. (In Russ). <https://elibrary.ru/item.asp?id=42379910>
15. Evstigneeva, I. A., Trukhina, A. A. & Ushakova, E. G. (2020, June 16). Modern trends in the development of the education system. *Creation of educational environments as a modern technology in education: Materials of the All-Russian scientific-practical conference*, Modern trends in the development of the education system. Cheboksary, Russia. Cheboksary: Sreda, 16–19. (In Russ). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43057037>

16. Pucholt, Z. (2020). Effectiveness of simulations versus traditional approach in teaching physics. *European Journal of Physics*, 42(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb4ba>
17. Alis, J. C., Perez, D. G., & Fernandes, I. (2020). *Hacia una imagen no deformada de la actividad científica*. *Endoxa*, 46, 55–59. <https://doi.org/10.5944/endoxa.14.2001.5026>
18. Gaydarova, M., Kotseva, I., & Hoxha, F. (2019). Models and modeling in physics education. 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union. *AIP Conference Proceeding*, 2075 (1), 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.5091419>
19. Karimov, M. F., & Shakriev, V. R. (2019). Physical and mathematical modeling of objects, processes and phenomena of natural and technical reality by students of secondary schools. *Simvol nauki*, 1, 102–104. (In Russ). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36940701>
20. Piaget, J. (1947). La représentation du monde chez l'enfant. Introduction. Les problèmes et le méthodes. *Tre d'introduction à l'ouvrage sur la représentation du monde chez l'enfant* (3e édition identique, PUF, pp. 5–30). http://www.fondationjeanpiaget.ch/fjp/site/textes/VE/JP_26_repres_monde_intro.pdf
21. Agapov, A. M., Aronov, A. M., Asonova, E. A., Brofman, V. V., Venger, A. L., Vorontsov, A. B., ... & Elkonin B. D. (2019). *Activity-based approach in education*: Monograph. Moscow: Moscow City University. (In Russ). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39322263>
22. Shchedrovitskiy P. G. (2019). The Activity Theory in Soviet Philosophy and Psychology in the 1960s–1980s. *Philosophical Thought in Russia in the Second Half of the Twentieth Century: A Contemporary View from Russia and Abroad* (Ch. 15, pp. 225–232). New York; London; Oxford; New Delhi; Sydney: Bloomsbury Academic. <https://www.bloomsbury.com/us/philosophical-thought-in-russia-in-the-second-half-of-the-twentieth-century-9781350040601>
23. Lvovsky, V. A., Yanishevskaya, M. A., & Yakushina, E. V. (2021). An activity-based approach to teaching the subjects of the natural science cycle is a guarantee of the formation of students' skills necessary in real life. *Media. Information. Communication (MIC)*, 36, 42–46. (In Russ). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45788254>
24. Lvovsky, V. A. (2014). On the way to the subject “physics”. *Physical education: problems and development prospects*, 123–126. (Russ). <https://elibrary.ru/item.asp?id=36344036>
25. Vorontsov, A. B., & Lvovsky, V. A. (2020). New projects of developing education. *Psychological science and education*, 25(5), 83–94. (In Russ). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43944353>
26. Davydov, V. V. (2000). *Types of generalization in teaching: logical and psychological problems in the construction of educational subjects*. Moscow: Pedagogical Society of Russia. (In Russ.)
27. Nezhnov, P. G. (2016). *Psychological problems of assessing educational results. Development of the theory and practice of educational activity: scientific school of V. V. Davydov*: Monograph. Volgograd: Peremeny. (In Russ). <https://elibrary.ru/item.asp?id=28346164>
28. Ushakova, E. G. (2021). Educational events as a format for mastering subject content. *Uchitel' Altaya*, 1(6), 66–70. (In Russ). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45662563>
29. Nezhnov, P. (2011). SAM — toolkit to assess primary school students' academic achievements. *CADMO*, 19(1), 85–98. <https://elibrary.ru/item.asp?id=16988514>
30. Mach, E. (2000). *Mechanics. Historical and critical sketch of its development*. Izhevsk: Izhevsk Republican Printing House.

31. Stevin, S. (1932). Principles of Hydrostatics. *Principles of Hydrostatics. Stevin, Archimedes, Pascal, Galileo*: collection of articles. Moscow: State publishing house of technical-theoretical literature.

32. Shchetnikov, A. I. (1994). *Thought experiment and rational science*. Moscow: Aspect-press.

Статья поступила в редакцию: 15.07.2021;
одобрена после рецензирования: 12.08.2021;
принята к публикации: 12.09.2021

The article was submitted: 15.07.2021;
approved after reviewing: 12.08.2021;
accepted for publication: 12.09.2021

Информация об авторах:

Елена Григорьевна Ушакова — научный сотрудник лаборатории проектирования деятельностного содержания образования Института урбанистики и глобального образования, МГПУ, Москва, Россия, babaluba2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5110-4537>

Мария Алексеевна Янишевская — кандидат психологических наук; доцент дирекции образовательных программ, ведущий научный сотрудник лаборатории психологии младшего школьника, Московский городской педагогический университет; Психологический институт Российской академии образования; Москва, Россия, y_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2036-2052>

Information about authors:

Elena G. Ushakova — Researcher, Laboratory for Designing the Activity Content of Education, Institute of Urban Studies and Global Education, Moscow City University, Moscow, Russia, babaluba2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5110-4537>

Maria A. Yanishevskaya — Candidate of Psychological Sciences; Associate Professor, Directorate of Educational Programs, Moscow City University; Leading Researcher of the Laboratory of Psychology of Younger Schoolchildren, Psychological Institute of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia, y_maria@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2036-2052>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.