

РОЗВИТОК СИСТЕМНОГО МИСЛЕННЯ СТУДЕНТІВ ЯК СКЛАДНИК ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ БІОЛОГІЇ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ ОСВІТИ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

DEVELOPMENT STUDENTS SYSTEM THINKING AS A PART OF FUTURE BIOLOGY TEACHER TRAINING TO IMPLEMENT THE FUNCTIONS OF EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

У статті розкрито сутність системного мислення як психолого-педагогічної категорії. Охарактеризовано його функції та значення в професійній підготовці майбутніх учителів біології. Виокремлено такі головні риси системного мислення: цілісне бачення, розуміння функціонування систем; стратегічне передбачення; абстрагування й екстраполяція; різноманітність сприйняття; гнучкість поглядів. Напрямами розвитку системного мислення майбутніх учителів біології автор вважає цілеспрямовану діяльність під час вивчення екологічних дисциплін: пояснення і розкриття властивостей систем; візуалізацію навчального матеріалу; імітаційне моделювання функціонування систем.

Ключові слова: освіта для сталого розвитку, системне мислення, властивості системного мислення, функції системного мислення, підготовка майбутніх вчителів біології.

В статье раскрыта сущность системного мышления как психолого-педагогической категории. Охарактеризованы его функции и значение в процессе профессиональной подготовки будущих учителей биологии. Выделены следующие главные черты системного мышления: целостное видение, понимание функционирования систем; стратегическое предвидение; абстрагирование и экстраполяция; разноразностность

восприятия; гибкость взглядов. Направлениями развития системного мышления будущих учителей биологии автор считает целенаправленную деятельность в ходе изучения экологических дисциплин: объяснение и раскрытие свойств систем; визуализацию учебного материала; имитационное моделирование функционирования систем.

Ключевые слова: образование для устойчивого развития, системное мышление, свойства системного мышления, функции системного мышления, подготовка будущих учителей биологии.

The article reveals the essence of systems thinking as psychological and educational categories. His functions and meanings in the training of future biology teachers are described. The following main features of system thinking are singled out: holistic vision, understanding the functioning of systems, strategic foresight, abstraction and extrapolation, heterogeneity of perception, flexibility of views. Directions of system thinking development of future biology teachers, purposeful activity during the study of environmental disciplines: explanation and disclosure of the properties of systems; visualization of educational material; simulation of the functioning of systems.

Key words: education for sustainable development, system thinking, properties of system thinking, function of system thinking, preparation of future teachers of biology.

УДК 378:504.03

Коренева І.М.,
канд. пед. наук,
доцент кафедри теорії і методики
викладання природничих дисциплін
Глухівського національного
педагогічного університету
імені Олександра Довженка

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Підготовка кваліфікованого педагога є важливою необхідністю сучасності: компетентний педагог забезпечує особистісний розвиток своїх вихованців, формування в них цілісної картини світу, ціннісних орієнтацій у житті, що визначатиме подальшу спрямованість їхньої діяльності. Він є зпорукою якісної підготовки фахівців в усіх галузях. Також це стосується професійної підготовки майбутніх учителів біології. Професіоналізм учителя біології ґрунтується передусім на високому рівні розвитку його мислення як одного з головних психічних процесів особистості. У реальних умовах учитель біології працює зі складними системами, як-от учнівський колектив, біологічні науки та природничо-наукова картина світу, процес навчання та виховання школярів, навколишнє середовище тощо. Для роботи та розуміння цих систем лінійного мислення часто буває недостатньо, адже воно бачить лише очевидні причинно-наслідкові зв'язки, що є обмеженими в часі і просторі, без усвідомлення віддалених наслідків подій та синергетичного впливу різних чинників. Звичне мислення є аналітико-синтетичним, воно

передбачає поділ цілого на частини, вивчення цих частин і складання досліджених частин у ціле на основі виявлених зв'язків. Проте функціонування складних систем, якими є світ, процес навчання і виховання, здебільшого залежить не від того, з яких елементів вони складаються, а від того, як ці елементи між собою взаємодіють. Ці взаємодії часто приховані, а наслідки – відстрочені та неочевидні. Тому завданням педагогічної освіти є формування в майбутніх учителів біології такого типу мислення, що дозволяє створити цілісну природничо-наукову картину світу, забезпечити їхню підготовку до майбутньої професійної діяльності.

Отже, якісна підготовка майбутніх учителів біології неможлива без формування та розвитку в них системного мислення – особливого стилю мислення, що дозволить усвідомлювати об'єктивну реальність на основі розуміння складних взаємозв'язків та залежностей, виокремлення їхніх системних алгоритмів, цілісного сприйняття дійсності й уміння розглядати ситуацію в більш широкому її контексті. Тому в концепції освіти для сталого розвитку особливе місце належить проблематиці системного мислення, яке розгля-

дається як важлива компетенція, необхідна для досягнення сталості суспільства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сутність та загальні характеристики системного мислення, а також шляхи його розвитку висвітлені в працях Л. Зубкової, Ф. Капра, Д. Кіма, Дж. О'Коннора, Н. Навоєвої, З. Решетової, Б. Свіні, В. Толкачова, Л. Шрагіної, О. Яковенко й ін. Часто проблематика розвитку системного мислення порушується в цих дослідженнях у контексті менеджменту організацій та формування управлінських компетенцій. Розвиток системного мислення в процесі навчання та виховання, зокрема у сфері освіти для сталого розвитку та біологічної освіти, є об'єктом активної уваги таких закордонних дослідників, як: К. Бурсма, К. Брандштадтер, К. Вебстер, Л. Зангорі, Д. Медоуз, В. Рієс, Ф. Розенкранцер, М. Хофман, Г. Шерер, С. Шулер та ін. Іноземні науковці підкреслюють особливе значення системного мислення для ОСР. За твердженням К. Вебстера, ОСР, що не розглядає проблеми системного мислення, є неповною. Вона може упереджено висвітлювати екологічну проблематику, недооцінювати економічну ситуацію, тому лінійне мислення потребує зміни на системне, що дозволяє розглядати більш широкий контекст проблеми крізь призму перспективи [26]. Як ключову компетентність з ОСР, що дозволяє студентам зрозуміти складність та динаміку природних, соціальних та економічних систем, розглядають системне мислення С. Шулер, Д. Фанта, Ф. Розенкранцер, В. Рієс та ін. [23; 21; 22].

Ю. Сайпос, Б. Батісті та К. Грімм тлумачать системне мислення як складне мислення з еко-системним підходом, що спрямоване на розкриття взаємозв'язків між соціальними, екологічними й економічними системами [24]. А. Васк, Л. Візікомб та Ч. Редмен розглядають його як здатність оцінювати зв'язки між складними системами одного рівня та між різнорівневими системами. Особливо наголошують на таких закономірностях системного мислення, як каскадні ефекти, інерція та зворотні зв'язки [27]. Н. Уфоф [25], М. Рікмен [20], Е. Фріск та К. Ларсон [18] зазначають, що розвиток системного мислення, хоча і є необхідною умовою активної діяльності у сфері ОСР, проте його часто буває недостатньо для формування сталої поведінки особистості.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз досліджень із проблематики системного мислення засвідчує, що воно здебільшого розглядається в контексті використання системного підходу, водночас поза увагою залишається його аналіз як психологічної категорії. Системне мислення є різновидом мислення, отже, являє собою психічний пізнавальний процес, що має свої особливості й етапи. У загальній, віковій та педагогічній психології системному

мисленню приділяється недостатньо уваги. Часто в психологічних словниках та підручниках із психології відсутнє тлумачення поняття «системне мислення», його особливості не розглядаються. Частіше йому приділяється увага в практичній та науково-популярній психології, у наукових працях із педагогіки.

Мета статті. Проаналізувати сутність та особливості системного мислення як психолого-педагогічної категорії, окреслити можливі шляхи його розвитку в процесі професійної підготовки майбутніх учителів біології.

Виклад основного матеріалу. Поява поняття «системне мислення» та становлення уявлень про нього пов'язані із системним підходом (початок ХХ ст.). У працях П. Анохіна, Л. фон Берталанфі, А. Богданова, А. Уйомова, Ю. Урманцева й ін. можна простежити не тільки становлення самої теорії систем, але й формування нового алгоритму теоретичного мислення – системного мислення.

До 30-х рр. ХХ ст. у природничих науках (біологія й екологія) формується новий тип мислення й окреслюються його головні риси, як-от: цілісність, взаємозв'язки, контекст [10, с. 39]. Системне мислення протиставляється аналітичному: якщо аналітичне мислення розглядає систему як сукупність елементів, то для системного мислення важливі не стільки структура, скільки функціонування, взаємозв'язки в системі та її нові емерджентні властивості.

Системне мислення дозволяє розв'язувати професійні завдання з позицій системного підходу. Деякі науковці [4; 8] вважають його найбільш розвиненою формою мислення, що відрізняється цілісністю відбиття дійсності. Системне мислення допомагає зрозуміти складність навколишнього світу, його системні зв'язки та залежності. Воно дозволяє не тільки побачити події, але і розпізнати структури й алгоритми, на основі яких вони виникають, зрозуміти перспективу, обрати відповідні шляхи досягнення мети. На думку Дж. О'Коннора й І. Макдермотта [11, с. 9], системне мислення – це такий спосіб мислення, що полягає у вмінні бачити глибинні зв'язки між окремими і ззовні незалежними ситуаціями. Воно дозволяє краще їх розуміти, впливати на них. Автори називають системне мислення «чарівним дзеркалом», що дозволяє зазирнути в майбутнє, полягає у вмінні розпізнавати правила і закономірності в повторюваності, що дозволяє контролювати ситуацію [11, с. 10].

Аналіз наукової літератури у сфері освіти засвідчив, що єдиного визначення поняття «системне мислення» немає. Автори у своїх дослідженнях часто не визначають це поняття, а розглядають як системне мислення застосування системного підходу в навчанні та формування окремих умінь. Зокрема, системне мислення

А. Берднікова, М. Мазур, І. Сичов розуміють як мислення, у процесі якого суб'єкт розглядає предмет мисленнєвої діяльності як систему, виокремлюючи в ньому системні властивості, відношення та закономірності [13, с. 27]. На думку Ю. Федосєєвої, системне мислення – це мислення, що враховує всі положення системного підходу (цілісність, багатоаспектність, взаємопов'язаність, вплив усіх чинників). Воно є новим баченням, спрямованим на інтегративний синтез знань, всебічне пізнання предмета дослідження, на синтез знань [14]. О. Іваньшина системним мисленням школярів вважає вміння здійснювати системний аналіз об'єктів природи, здатність аналізувати об'єкт як систему взаємопов'язаних елементів, виокремлювати загальний принцип побудови цієї системи і конструювати на цій основі нову систему елементів [7]. В окремих дослідженнях системним мисленням називають нелінійний стиль мислення, що спрямований на врахування положень системного підходу [12].

Є. Голибард у своїх дослідженнях [2; 3] приділяє велику увагу технології системного мислення, тлумачить її як систему переконань, методів, прийомів і процедур мислення, що гарантують раціональне вирішення проблеми з метою зменшення витрат на виконання окремих функцій [3, с. 11].

Л. Зубкова та Н. Маслова висловили припущення щодо фізіологічної природи системного мислення з погляду домінування півкуль головного мозку [6; 9]. Так, дослідники вважають, що системне мислення засноване на поєднанні логічного (лівопівкульного) й образного (правопівкульного) мислення [1]. Це є досить обґрунтованим, адже саме ліва півкуля відповідає за інтелектуальні здібності, систему розумових операцій, когнітивний стиль, забезпечує аналітичне, дедуктивне мислення. Проте результатом системного мислення завжди є нові знання, творчі рішення відомої проблеми. Отже, системне мислення неможливе без розвитку творчості, образного мислення і цілісного сприйняття об'єкта дослідження. Усе це забезпечує права півкуля головного мозку [6]. На основі досліджень активності головного мозку Н. Маслова обґрунтувала концепцію інноваційної технології навчання (REAL-методика викладання навчальних дисциплін), що дістала назву «ноосферна освіта» та базується на досягненнях у галузі педагогіки, психології, філософії, біології, фізіології, нейрофізіології, квантової фізики [9].

Важливо визначити критерії та властивості системного мислення, які його характеризують і є своєрідними орієнтирами для його формування. У своїх дослідженнях Н. Навоєва виокремлює такі критерії системного мислення, як: перехід від часткового до цілого, здатність переміщувати фокус уваги з одного рівня системи на інший, мислення категоріями мереж, та розглядає мож-

ливості формування інформаційного цілісного системного мислення на основі його інтегрованої моделі [10, с. 39–40].

І. Дяченко системність мислення трактує як прагнення пізнання всієї сукупності різних сторінок об'єкта дослідження з іншими об'єктами. Науковець зазначає такі основні критерії системного мислення, як: уміння сконструювати систему; високий рівень розвитку атрибутивного, реляційного, предикуючого, інтерпретуючого, аналітичного, синтетичного мислення; розв'язання завдань за допомогою різних типів мислення; певне співвідношення між атрибутивним і реляційним мисленням; необхідність розглядати реальну систему як багатомірне ціле; пошук інформації узагальнюючого характеру [5, с. 151].

Закордонні дослідники також зазначають обмеженість наукової літератури із проблематики системного мислення, незважаючи на те, що воно є ключовою компетенцією з ОСР. Так, А. Клесон та М. Свенстром характеризують системне мислення як здатність когнітивно взаємоз'єднувати елементи, виявляти причинно-наслідкові зв'язки та петлі зворотного зв'язку [15]. Р. Флуд і Е. Карсон визначили системне мислення як цілісне бачення та шлях до розуміння різних подій [17, с. 4]. А. Васк, Л. Візікомб та Ч. Редмен визначили системне мислення як здатність комплексно аналізувати складні системи на перетині різних галузей (суспільство, навколишнє середовище, економіка тощо) і в різних масштабах (від локального до глобального), враховуючи каскадні ефекти, інерцію, цикли зворотного зв'язку й інші системні функції, пов'язані із проблемами сталого розвитку та стійкістю [27]. Ефективними шляхами розвитку системного мислення дослідники вважають застосування концепт-карт [15], комп'ютерного програмного забезпечення для моделювання природних процесів і явищ [19].

Закордонними дослідниками виокремлюються чотири виміри системного мислення, а саме:

– просторовий (здатність усвідомлювати, що вирішення локальних проблем може мати глобальні наслідки, виявляти та локалізувати явища в контексті їхніх глобальних відносин і наслідків, бачити ситуацію як у глобальному, так і в локальному контексті, розуміння глобальної цілісності тощо);

– часовий (здатність аналізувати минуле та його наслідки для теперішнього, розуміти сьогочасність та прогнозувати майбутнє, розуміти різні сценарії майбутнього);

– міждисциплінарний (здатність розглядати проблематику з різних боків і рівнів, уміння спілкуватися, працювати і вчитися за різними вимірами (економічні, соціальні й екологічні) та дисциплінами, а також розуміти необхідність та додаткову цінність цього),

– культурний (здатність бачити себе й інших в індивідуальному та глобальному культурному контексті).

У підсумку аналізу досліджень із проблематики системного мислення можна зробити висновок про те, що системне мислення є самостійним видом інтелектуальної діяльності, особливим нелінійним стилем теоретичного мислення, що дозволяє вирішувати поставлені завдання на основі цілісного бачення проблеми з використанням інструментарію системного підходу.

Характерними ознаками системного мислення вважаємо такі:

– цілісне бачення – усвідомлення цілісності та множинності взаємозв'язків, що дозволяє ефективно аналізувати великі обсяги інформації та виявляти наявні закономірності на основі не тільки очевидних, але і прихованих зв'язків. Воно дозволяє виокремлювати емерджентні властивості системи;

– розуміння функціонування систем – здатність вирізнити та розуміти такі системні явища, як каскадні ефекти, причинно-наслідкові зв'язки, петлі зворотного зв'язку, інертність;

– стратегічне передбачення – здатність до прогнозування подій на основі вміння бачити зворотні зв'язки та передбачати каскадні ефекти, оцінювати ризики та можливості, пов'язані з ухваленням рішень. Системне мислення відбувається контурами, циклами, в яких сприйняття результату дій, тобто зворотні зв'язки, відіграє головну роль, визначає подальші дії і функціонування системи;

– абстрагування й екстраполяція – уміння спрощувати та будувати моделі реальних і уявних систем, здатність до екстраполяції створених моделей систем;

– різномірність сприйняття – уміння бачити реальність на різних рівнях системи, з різним ступенем збільшення, у різних системах координат, уміння розглядати ситуацію в більш широкому її контексті. Адже в природі та суспільстві всі системи є частинами інших систем вищого рівня. А властивості системи не є простою сукупністю властивостей її компонентів;

– гнучкість поглядів – готовність до постійних змін своїх переконань.

Виокремимо функції системного мислення:

1. Системне мислення дозволяє впливати на життя за допомогою розуміння та використання алгоритмів, що запускають хід подій. Як результат, це зумовлює підвищення професійної компетентності із природничих наук, у сфері навчання і виховання школярів, що дозволяє прогнозувати та передбачати зміни.

2. Системне мислення дозволяє знаходити найефективніші шляхи вирішення проблем, уникати їх у майбутньому на основі здатності до передбачення подій.

3. Системне мислення – це основа для чіткого мислення і спілкування, далекоглядності і здатності бачити ширше.

4. Системне мислення – це важливий інструмент, який допомагає зрозуміти всю складність педагогічного процесу, на цій основі ефективно управляти собою й іншими, покращити роботу та міжособистісні взаємини.

5. Системне мислення не обмежується однією сферою застосування. Його використання дозволяє екстраполюватися в складному світі систем у часі та просторі.

Цілеспрямований розвиток системного мислення передбачає формування умінь здійснювати дослідження з позицій системного підходу, що став сьогодні науковою методологією. У розвитку системного мислення можливе використання будь-якої предметної сфери. Адже формування інтелектуальних здібностей відбувається в процесі вивчення всіх без винятку навчальних дисциплін освітньої програми. Проте у своєму дослідженні спробуємо окреслити коло навчальних курсів освітньої програми підготовки фахівців предметної спеціальності 0.14.05 «Середня освіта (Біологія)», що є найбільш показовими та результативними щодо розвитку системного мислення. Такими дисциплінами вважаємо екологічно спрямовані курси, адже саме екологія як наука про взаємозв'язки та надорганізменні системи дає необмежений обсяг можливостей розгляду взаємозв'язків у природі та суспільстві, аналізу природних та штучних екосистем, виокремлення їхніх емерджентних властивостей та прогнозування динаміки. Розглянемо особливості формування системного мислення майбутніх учителів біології на прикладі таких нормативних дисциплін, як «Загальна екологія», «Екологія рослин, тварин і людини» та ін.

У дослідженні ми використовували систему методів, прийомів, завдань та вправ, що ґрунтувалася на програмному матеріалі дисциплін «Загальна екологія, екосистемологія та радіобіологія», «Екологія рослин, тварин і людини», «Основи екологічної культури» та «Стратегія екологічної безпеки: інтеграція європейського досвіду», була спрямована на розвиток системного мислення і включала діяльність із:

- 1) пояснення і розкриття властивостей систем;
- 2) візуалізації навчального матеріалу;
- 3) імітаційного моделювання функціонування систем.

Завдання розроблено з такою метою, щоби максимально сприяти розвитку вищезазначених властивостей системного мислення. Ми дотримувались ідей, висунутих Л. Шрагіною [15], щодо необхідності вироблення «нежорсткого» алгоритму розумових дій у процесі оброблення навчальної інформації та використання системи вправ на пошук спільних ознак, аналогів, про-

тилежного об'єкта, причин, пояснення суперечностей, визначення понять, узагальнення тощо. А також у процесі експериментальної роботи широко застосовували технологію mind mapping (візуалізація навчального матеріалу на основі використання концепт-карт (структурно-логічні схеми, карти розуму, ментальні карти тощо)).

Висновки. Отже, системне мислення є самостійним видом інтелектуальної діяльності, особливим нелінійним стилем теоретичного мислення, що дозволяє вирішувати поставлені завдання на основі цілісного бачення проблеми з використанням інструментарію системного підходу. Його характерними властивостями є цілісне бачення, розуміння функціонування систем; стратегічне передбачення; абстрагування й екстраполяція; різномірність сприйняття; гнучкість поглядів.

Системне мислення може дати відповіді на виклики сталого розвитку, які мають характер глобальних, але вирішуються на локальному рівні. Воно дає уявлення про взаємопов'язаність світу і розуміння значення сьогоденного вибору для розвитку суспільства в майбутньому. Відповіді на ці питання є складними і потребують не тільки екологічних знань, але й освіченості в усіх інших сферах, уміння розглядати ситуацію під різними кутами зору (аналізувати екологічні, економічні та соціальні аспекти проблеми). Системне мислення сприяє формуванню світогляду та цілісної картини світу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Безант А. Древняя мудрость. М.: Эксмо, 2008. 602 с.
2. Голибард Є. Щоб думати і чинити правильно. Нариси технології системного мислення. К.: Вечірній Київ, 1998. 168 с.
3. Голибард Є. Основи технології системного мислення: підручн. до однойменного курсу. К.: Фенікс, 2017. 318 с.
3. Дворянкина Е. Профессиональное развитие будущих учителей в вузе как педагогическая проблема. *Наука и школа*. 2010. № 1. С. 47–49.
4. Дяченко І. Системне мислення та структурний метод – шляхи подолання відчуження знань у процесі викладання курсу та створення підручника «Історія і медицина України». *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова*. Серія 5 «Педагогічні науки: реалії і перспективи». Вип. 60. К.: Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2018. С. 150–155.
5. Зубкова Л. Системне мислення як інтеграційний компонент формування цілісної особистості. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*. 2015. III (35). Issue 71. P. 35–37.
6. Иваньшина Е. Развитие системного мышления учащихся при изучении курса «Естествознание»: дисс. ... канд. пед. наук: 13.00.02. СПб., 2005. 240 с.
7. Китайгородская Г. Структура системного профессионально-педагогического мышления учителя физики. *Наука и школа*. 2010. № 1. С. 35–39.
8. Маслова Н. Ноосферное образование: пособ. для учителя. Симферополь: Доля, 2012. 296 с.
9. Навоєва Н. Основні концептуальні засади розвитку інформаційного системного мислення. *Вісн. Одес. нац. ун-ту*. Психологія. 2008. Вип. 13. С. 38–44.
10. О'Конор Дж., Макдермотт І. Системне мислення. Пошук неординарних творчих рішень. Пер. з англ. Н. Сисюк. К.: Наш формат, 2018. 240 с.
11. Панов А., Федорова М. Формирование системного мышления. *Омский научный вестник*. 2014. № 4 (131). С. 162–165.
12. Сычев И. Педагогические условия формирования элементов системного мышления учащихся старших классов: дисс. ... канд. пед. наук: 13.00.01. Барнаул, 2009. 197 с.
13. Федосеева Ю. Развитие системного мышления студентов колледжа на основе использования информационных технологий: дисс. ... канд. пед. наук: 13.00.01. Магнитогорск, 2009. 197 с.
14. Шрагіна Л. Технологія розвитку креативності. К.: Шк. світ, 2010. 160 с.
15. Claesson A., Svanström M. Systems thinking for sustainable development – what does it mean and how is it formed? *Engineering Education for Sustainable Development*. 2013. UK, Cambridge, P. 1–9. URL: file:///E:/Downloads/Nystrom%20Claesson%20A%20(1).pdf.
16. Flood R., Carson E. Dealing with Complexity: An Introduction to the Theory and Application of Systems Science. N. Y.: Plenum Press, 1988. 289 p.
17. Frisk E., Larson K. Educating for sustainability: Competencies & practices for transformative action. *Journal of Sustainability Education*. 2011. № 2 (March). P. 1–20.
18. Liu L., Hmelo-Silver C. Promoting Complex Systems Learning through the use of Conceptual Representations in Hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*. 2009. Vol. 46. P. 1023–1040.
19. Rieckmann M. Future-oriented higher education: Which key competencies should be fostered through university teaching and learning? *Futures*. 2012. № 44 (2). P. 127–135.
20. Riess W., Mischo C. Promoting Systems Thinking through Biology Lessons. *International Journal of Science Education*. 2010. Volume 32. Issue 6. P. 705–725.
21. Rosenkränzer F., Hörsch C., Schuler S., Riess W. Student teachers' pedagogical content knowledge for teaching systems thinking: effects of different interventions. *International Journal of Science Education*. 2017. Volume 39. Issue 14. P. 1932–1951.
22. Schuler S., Fanta D., Rosenkraenzer F., Riess W. Systems thinking with in the scope of education for sustainable development (ESD) – a heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. *Journal of Geography in Higher Education*. 2018. Volume 42. Issue 2. P. 192–204.
23. Sipos, Y., Battisti, B., Grimm, K. Achieving transformative sustainability learning: engaging head, hands and heart. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. 2008. № 9 (1). P. 68–86.
24. Uphoff N. Systems thinking on intensification and sustainability: Systems boundaries, processes and

dimensions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2014. № 8. P. 89–100.

25. Webster K. Missing the wood for the trees: systemic defects and the future of education for sustainable development. *The Curriculum Journal*. 2013. Volume 24. Issue 2: Education for Sustainable Development as the

DESD Approaches 2014: What Have We Achieved and Ways Forward? P. 295–315.

25. Wiek A., Withycombe L., Redman C. Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*. 2011. № 6 (2). P. 203–218.