

17. Danilovich I., Geyer B. (2021), Estimates of current and future climate change in Belarus based on meteorological station data and the EURO-CORDEX-11 dataset, *Meteorology, Hydrology and Water Management*, <https://doi.org/10.26491/mhwm/139386>

18. Данилович И.С., Логинов В.Ф. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси // *Центральноазиатский журнал географических исследований*. 2021. № 1-2. С. 35-48.

19. Лопух П. С., Партасенок И. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси. Минск, 2013.

20. Современные и ожидаемые гидроклиматические изменения в бассейнах Балтийского и Арктических морей в пределах территорий Беларуси и России / В. Ф. Логинов [и др.] // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. – 2022. – Т. 66, No 3. – С. 338–347. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-338-347>

21. Данилович И. С., Квач Е. Г., Поликша Д. С. Современные и будущие изменения гидроклиматических характеристик в бассейне Припяти // *Асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зборник навуковых прац / Нацыянальная акадэмія навук Беларусі. Палескі аграгна-экалагічны інстытут ; пад рэд. М. В. Міхальчук. – Мінск : Беларуская навука, 2022. – С. 7-9.*

22. Волчек А. А., Корнеев В.Н., Парфомук С.И. Оценка и прогноз естественных водных ресурсов Беларуси // *Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ; под ред. Н.В. Бышова. – Рязань, 2013. – С.434 – 440.*

23. Волчек, А. А.; Парфомук, С. И.; Сидак, С. В. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы. *Вестник БрГТУ* 2021, 69-76.

24. Данилович И. С., Квач Е. Г. Современные изменения и прогнозные оценки гидроклиматических характеристик на территории Беларуси // *Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26-28 октября 2022 г. / Брест. гос. тех. ун-т : редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. 1. – С. 95-102.*

25. Daniela Jacob et al., “EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research”, *Regional Environmental Change* 14, no. 2 (2014): 563–78, [doi:10.1007/s10113-013-0499-2](https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2).

УДК 551.578

## **ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ**

*О. П. Мешик<sup>1</sup>, В. А. Морозова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии  
УО «Брестский государственный технический университет»,  
Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

<sup>2</sup> Магистр технических наук, аспирант кафедры природообустройства,  
старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики  
УО «Брестский государственный технический университет»,  
Брест, Беларусь, e-mail : vmorozova-brest@mail.ru

### **Реферат**

Снежный покров является источником питания рек в весенний период, тем самым формируя весеннее половодье, обусловленное таянием снега, накоплен-

ного за зиму. Сток весеннего половодья составляет 40–60 % объема годового стока, в период половодья подвергаются затоплению населенные пункты и сельскохозяйственные земли. В результате избыточного снегонакопления возможно разрушение конструкций зданий и сооружений в результате сверхнормативных снеговых нагрузок. Все это делает актуальным прогнозирование снегонакопления на исследуемой территории на различную перспективу.

В работе даны прогнозные оценки снегонакопления на территории Белорусского Полесья.

**Ключевые слова:** снежный покров, запасы воды в снеге, высота снега, снегонакопление, GMDH Shell, временные ряды, прогнозирование.

## FORECAST ASSESSMENTS OF SNOW ACCUMULATION ON THE TERRITORY OF BELARUSIAN POLESIE

A. P. Meshyk, V. A. Marozava

### Abstract

The snow cover is the source of river nutrition in the spring, thus forming a spring flood due to the melting of snow accumulated during the winter. The runoff of the spring flood is 40–60% of the annual runoff; during the flood period, settlements and agricultural lands are flooded. As a result of excessive snow accumulation, the structures of buildings and structures may be destroyed as a result of excess snow loads. All this makes it relevant to forecast snow accumulation in the study area for a different perspective.

The paper gives forecast assessments of snow accumulation on the territory of Belarusian Polesie.

**Keywords:** snow cover, snow water equivalent, snow height, snow accumulation, GMDH Shell, time series, forecasting.

### Введение

Неблагоприятные гидрометеорологические явления занимают первое место среди чрезвычайных ситуаций природного характера в Беларуси. Весеннее половодье рек является достаточно часто происходящим явлением в Беларуси, при котором могут быть затоплены огромные площади, включающие сельскохозяйственные угодья с озимыми культурами, застроенные территории и др. Например, пойма реки Припять может затапливаться более чем на 50 км.

Доля весеннего стока на реках Беларуси колеблется в пределах 40–60 % годового стока. Анализ среднего максимального стока весенних половодий показывает, что максимальный сток значительно сократился. Одной из причин является увеличение количества оттепелей зимой. Многократные фазовые переходы, таяние снега приводит к увеличению зимнего стока и иногда зимних паводков с меньшими расходами весеннего половодья [1].

В этой связи, основным фактором, способствующим зимнему и весеннему половодью на реках Беларуси, особенно на территории Полесья, является снегонакопление [2, 3]. Именно поэтому необходимо исследовать характеристики снежного покрова с целью прогнозирования возможного затопления сельскохозяйственных и жилых территорий. В настоящее время для прогнозирования ве-

сенних половодий используется множество моделей и методов, включающих различные метеорологические параметры [4–8]. При этом запасы воды в снеге выступают основным фактором, способствующим весеннему половодью на реках Беларуси, и в частности белорусского Полесья, поэтому их прогнозирование играет важную роль.

### **Материалы и методы**

Объектом исследования являются характеристики снежного покрова. В работе использованы официальные данные климатического мониторинга по 5 метеостанциям (Брест, Пинск, Житковичи, Василевичи, Гомель) территории Белорусского Полесья за 1945–2020 гг. Данные характеризуют: максимальные запасы воды в снеге, мм; максимальную высоту снежного покрова, см [9].

Для прогнозирования временных рядов в работе используется программа GMDH Shell, которая реализует следующие модели: комбинаторный GMDH (Group Method of Data Handling – Групповой Метод Обработки Данных); нейронные сети типа GMDH.

### **Основная часть**

Временные ряды (Time series) дают возможность прогнозировать будущие значения. На основании предыдущих значений, временные ряды можно использовать для прогнозирования тенденций в различных отраслях.

Анализ временных рядов является мощным методом анализа данных. Временные ряды представляют собой последовательные образцы данных, измеренные один за другим с фиксированными временными интервалами. Анализ временных рядов направлен на выявление специфических закономерностей в этих данных для прогнозирования будущих значений на основе ранее наблюдаемых.

Программа GMDH Shell реализует сильно модифицированную и улучшенную версию классического алгоритма GMDH, разработанного в конце шестидесятых годов XX века. В отличие от классического группового алгоритма обработки данных, в программном обеспечении GMDH Shell для описания заданных исторических данных используются постепенно усложняющиеся модели. Каждая такая модель проверяется на соответствие полученным ранее значениям данных, после чего GMDH Shell рассчитывает прогнозную достоверность модели и решает, строить следующую модель или нет.

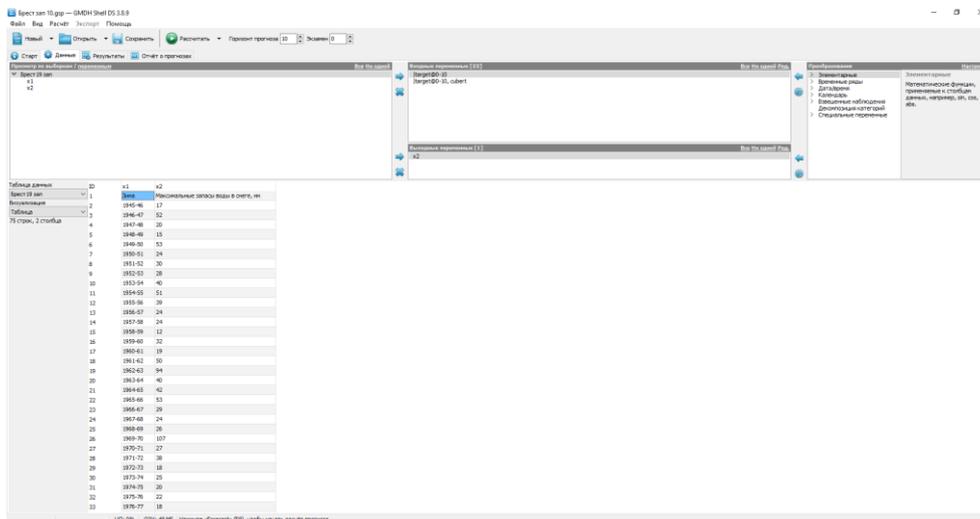
GMDH Shell не только обеспечивает высокоскоростной анализ и точное прогнозирование, но и обладает комплексным инструментом управления данными для быстрого ввода исходных данных, богатыми возможностями визуализации и многочисленными шаблонами, готовыми для мгновенного анализа с собственными данными. GMDH Shell максимально эффективно использует возможности системы для выполнения анализа временных рядов за минимальное время. Программа может выполнять параллельные вычисления и достигать точных результатов прогнозирования в кратчайшие сроки.

### **Преимущества GMDH Shell для Data Science:**

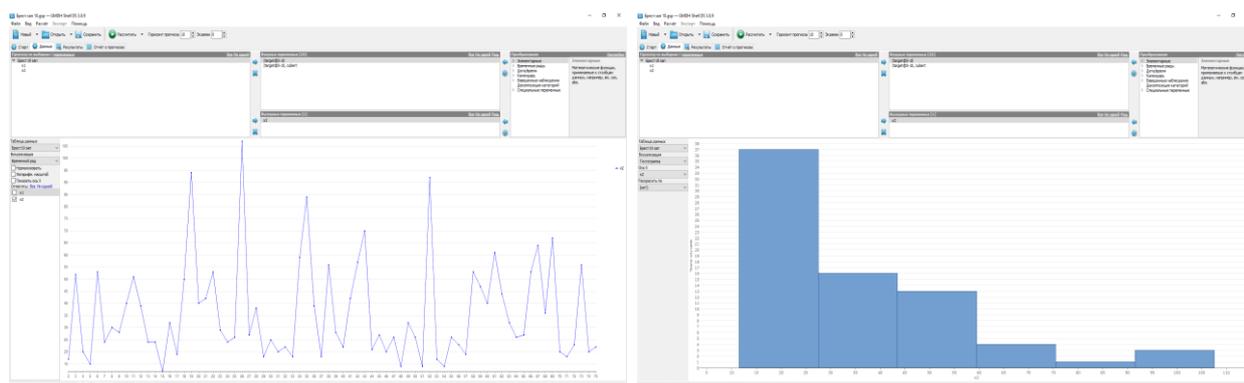
- Автоматически определяет структуру модели.
- Устраняет перенасыщение и хорошо работает с небольшими наборами данных.

- Быстродействие с большим количеством входных переменных.
- Предоставляет инструменты прогнозирования, классификации, регрессии и кластеризации в одном пакете.

На рисунках 1, 2 показан пользовательский интерфейс программы и анализ данных характеристик снежного покрова.

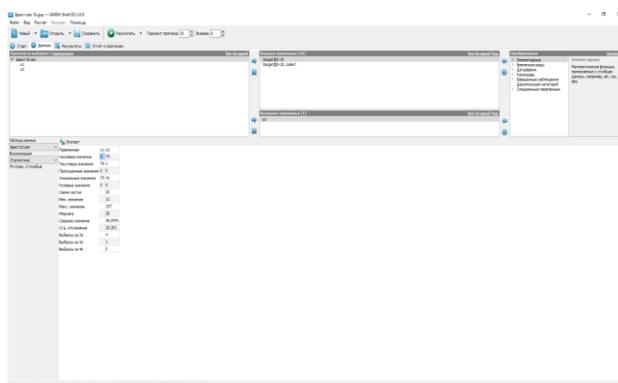


**Рисунок 1 – Окно «Данные» программы GMDH Shell**



а)

б)



в)

**Рисунок 2 – Анализ данных запасов воды в снеге по метеостанции Брест 1945–2020 гг. в программе GMDH Shell:**  
 а) временной ряд; б) гистограмма; в) статистические характеристики

В современной теории прогностического моделирования хорошо известно, что модель должна обеспечивать компромисс между простотой и точностью. GMDH Shell соответствует этой цели, используя алгоритмы обучения группового метода обработки данных *Group Method of Data Handling* (GMDH), который является методом обнаружения знаний, созданным профессором А.Г. Ивахненко в 1968 году.

Групповой метод обработки данных применялся в самых разных областях для глубокого обучения и обнаружения знаний, прогнозирования и интеллектуального анализа данных, оптимизации и распознавания образов. Индуктивные алгоритмы GMDH дают возможность автоматически находить взаимосвязи в данных, выбирать оптимальную структуру модели или сети и повышать точность существующих алгоритмов. Этот оригинальный самоорганизующийся подход отличается от дедуктивных методов, используемых для моделирования. Он имеет индуктивную природу – он находит наилучшее решение путем сортировки возможных вариантов. Путем сортировки различных решений GMDH networks стремится минимизировать влияние автора на результаты моделирования. Компьютер сам находит структуру оптимальной модели или законов, которые действуют в системе. *Групповой метод обработки данных* представляет собой набор из нескольких алгоритмов для решения различных задач. Он состоит из параметрических, кластеризации, комплексообразования аналогов, ребинаризации и вероятностных алгоритмов. Этот индуктивный подход основан на сортировке постепенно усложняющихся моделей и подборе оптимального решения по минимуму внешней характеристики критерия. В качестве базовых моделей используются не только полиномы, но и нелинейные, вероятностные функции или кластеризации. Подход GMDH может быть полезен, в связи с тем, что:

- Находится оптимальная сложность структуры модели, адекватная уровню шума в выборке данных. Для реальных задач, с шумовыми или короткими данными, упрощенные оптимальные модели более точны.
- Количество слоев и нейронов в скрытых слоях, структура модели и другие оптимальные гиперпараметры определяются автоматически.
- Это гарантирует, что будут найдены наиболее точные или непредвзятые модели – метод не пропустит лучшее решение при сортировке всех вариантов (в данном классе функций).
- В качестве входных переменных могут использоваться нелинейные функции или признаки, которые могут оказывать влияние на выходную переменную.
- Он автоматически находит интерпретируемые связи в данных и выбирает эффективные входные переменные.
- Алгоритмы сортировки GMDH довольно просты для разработки программного обеспечения.
- Двухслойные нейронные сети могут быть использованы для повышения точности других алгоритмов моделирования.
- Метод получения информации непосредственно из выборки данных и минимизирует влияние априорных авторских предположений о результатах моделирования.

- Подход дает возможность найти объективную физическую модель объекта (закон или сегментацию) – такую же на будущих образцах.

Рассматриваемый метод был реализован во многих коммерческих программных средствах. Также GMDH известен как полиномиальные нейронные сети, абдуктивные и статистические сети обучения [10].

Идея всех алгоритмов типа GMDH заключается в применении генератора постепенно усложняющихся моделей и выборе набора моделей, которые показывают высочайшую точность прогнозирования при ранее невидимых данных. Эти данные обычно называют частью проверки или тестирования, а модель с самым высоким рейтингом считается оптимально сложной.

Математически GMDH довольно прост и в то же время хорошо скоординирован с современными методами интеллектуального анализа данных. Центральная роль в определении оптимальной сложности отводится валидации – это общий подход для большинства алгоритмов обучения. Тем не менее, GMDH Shell фокусируется на двухуровневом подходе к проверке и, конечно же, предоставляет необходимые инструменты. На самом деле GMDH Shell автоматизирует работу большинства датамайнеров. Второй уровень проверки, который называется «пробой удержания», является обычной практикой, но термин «удержание» может относиться к тестовому образцу в других инструментах или литературе. Выносная выборка не принимает участия в оценке модельных коэффициентов или выборе структуры модели. Он используется для расчета производительности постобработанных прогнозов, которые предупреждают о переподготовке или просто о низком качестве моделей. Фактически, контрольный образец проверяет вашу попытку моделирования в целом, т.е. проверяет валидность преобразований, значимость выбранных входных данных и тому подобное.

В GS доступны два тесно связанных алгоритма обучения:

- Комбинаторный GMDH
- Нейронные сети типа GMDH

Поскольку эти алгоритмы логически отделены от процедур подготовки данных, то они и являются основными алгоритмами. Основные алгоритмы выполняют генерацию и выбор модельных структур. Затем модельные коэффициенты устанавливаются с использованием метода наименьших квадратов (для обоих алгоритмов).

Основной алгоритм генерирует модели от простых к сложным до тех пор, пока точность тестирования не увеличится. Встроенные стратегии проверки, т.е. перекрестная проверка или простое секционирование, имеют дело с данными, разделенными на обучающие и тестовые части. Перекрестная проверка, например, соответствует многочисленным разделениям, рассматриваемым один за другим и в конечном итоге усредняемым. Обучающие данные используются для подгонки модельных коэффициентов, в то время как данные тестирования используются для расчета валидационной меры. Постоянное усложнение увеличивает количество параметров модели (столько же, сколько весов нейронной сети) до тех пор, пока уменьшается погрешность тестирования.

Если это настроено, GMDH Shell применяет готовую к использованию модель к данным проверки 2-го уровня и отображает результаты производитель-

ности, которые следует использовать для оценки успешности моделирования.

**Комбинаторная модель GMDH** – полиномиальная функция, линейная по параметрам. Комбинаторная модель – это подмножество членов полиномиальной функции, порожденной из заданного набора переменных. Например, если смоделировать набор данных из двух входных переменных  $x_1$  и  $x_2$  и выходной (целевой) переменной  $y$ , то обычно используется квадратичная полиномиальная функция, для которой будет выполняться оптимизация:  $y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_1^2 + a_5 \cdot x_2^2$ .

Степень полиномиальной функции определяется пользователем и также может представлять собой линейную функцию, т.е. степень равна единице. Комбинаторный GMDH выбирает оптимально-сложную модель, например, как подмножество слагаемых полного многочлена с наименьшей погрешностью модели при тестировании данных  $y = a_0 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2$ .

Этап предварительной обработки данных позволяет применять к переменным  $x_1$  и  $x_2$  различные операторы, например, экспоненту, сигмовидную функцию, лаги временных рядов и так далее. Но окончательная модель все равно будет линейной по параметрам.

Комбинаторный GMDH в целом является трудоемким алгоритмом. Его применение в качестве автономного алгоритма практически полезно для выбора переменных или с пределом сложности 3-7 параметров модели, что позволяет обрабатывать 500-100 переменных. Использование предварительного выбора переменных, доступных в модуле решателя, позволяет уменьшить количество переменных до допустимых границ.

**Нейронные сети типа GMDH**, также известные как полиномиальные нейронные сети, используют комбинаторный алгоритм для оптимизации нейронной связи. Алгоритм итеративно создает слои нейронов с двумя или более входами. Алгоритм сохраняет только ограниченный набор оптимально сложных нейронов, которые мы обозначаем как начальную ширину слоя. Каждый новый слой создается с использованием двух или более нейронов, взятых из любого из предыдущих слоев. Каждый нейрон в сети применяет передаточную функцию (обычно с двумя переменными), что позволяет исчерпывающему комбинаторному поиску выбрать функцию переноса, которая наиболее точно предсказывает данные тестирования. Функция передачи обычно имеет квадратичную или линейную форму, но также может быть настроена в модуле решателя.

Сети типа GMDH генерируют множество слоев, но многоуровневые соединения настолько разрежены, что их количество может быть таким же маленьким, как несколько соединений на слой. Алгоритм возвращает только ограниченное количество нейронов, определенных пользователем из каждого слоя, поскольку каждый новый слой может соединяться с предыдущими слоями, ширина слоя постоянно растет. Принимая во внимание, как редко верхние слои улучшают популяцию моделей, дополнительный размер следующего слоя делится на два и генерирует только половину нейронов, генерируемых на предыдущем слое. Эта эвристика делает алгоритм быстрее, в то время как вероятность снижения качества модели низкая  $N_k N_k = 0,5 \cdot N_{k-1}$ .

Генерация новых слоев обычно прекращается, когда новый слой не может показать лучшую точность тестирования, чем предыдущий слой. Однако генерация новых слоев прекращается, если ошибка тестирования была уменьшена менее чем на 1% или если количество слоев достигло определенного предела, который можно определить.

В некоторых плохо поставленных симуляциях количество уникальных весов сети (или сложности модели) может быть слишком большим по сравнению с количеством строк набора данных. В результате модель переупорядочивает данные и может не предсказать выборку, адекватно предсказанную. В этом случае можно вручную ограничить количество сетевых слоев, или перепроектировать набор входных данных, или отменить преобразования, которые слишком сильно расширяют исходный набор входных данных [11].

На рисунках 3, 4 показаны примеры выбора модели прогнозирования и его результаты.

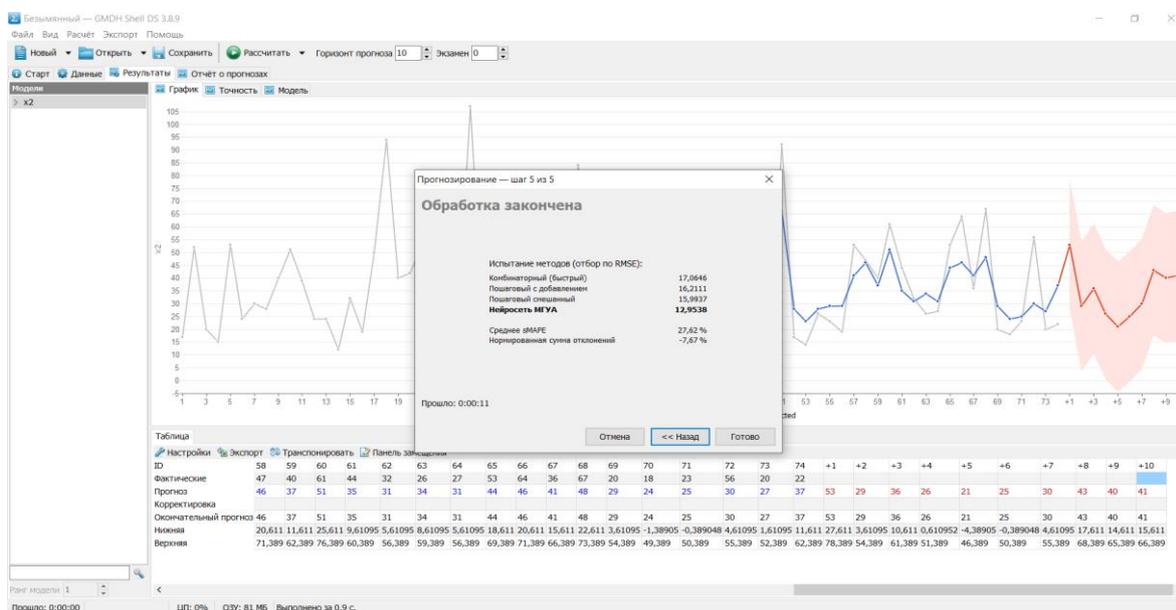
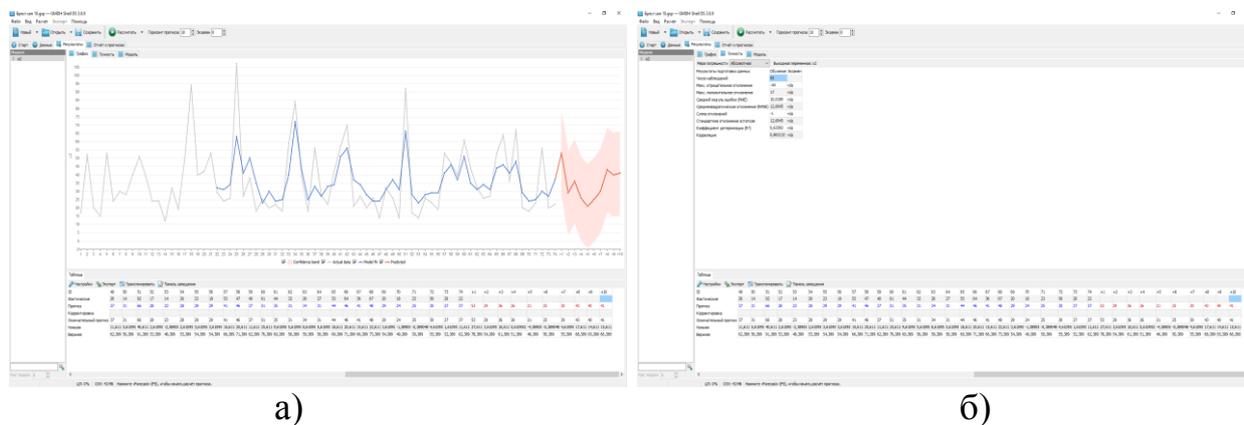
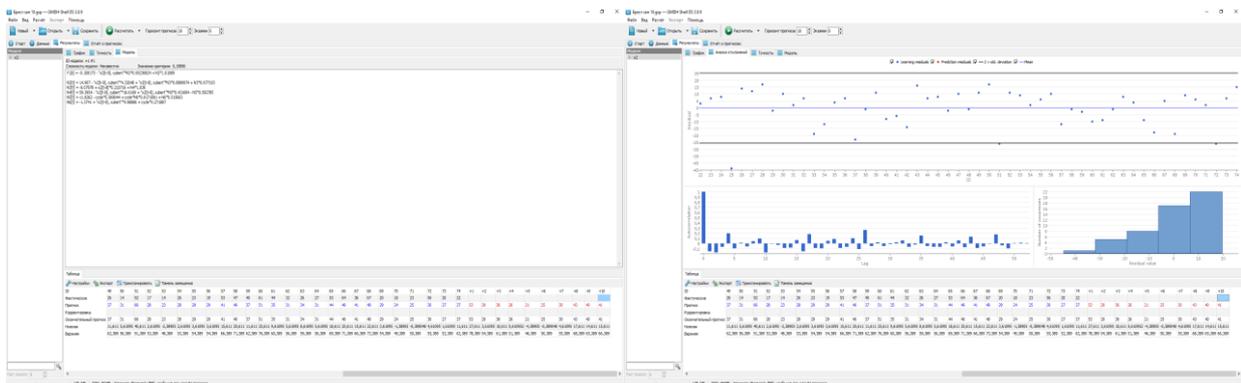


Рисунок 3 – Автоматический выбор модели прогнозирования программой GMDH Shell



а)

б)

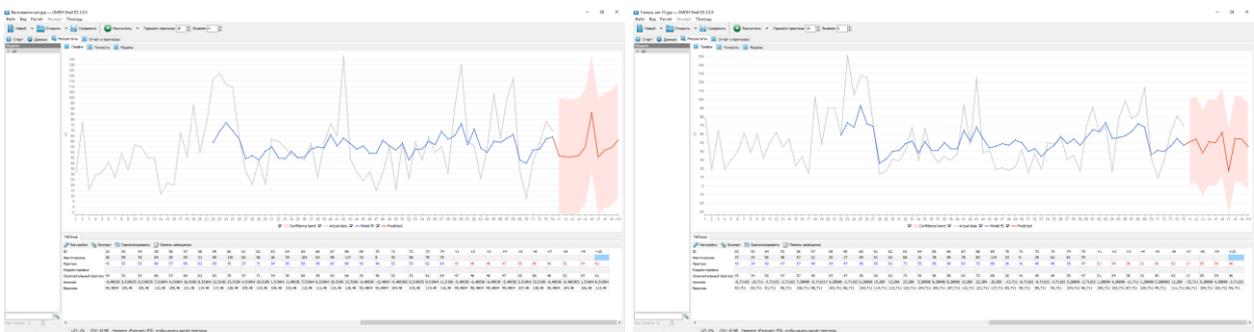


в)

г)

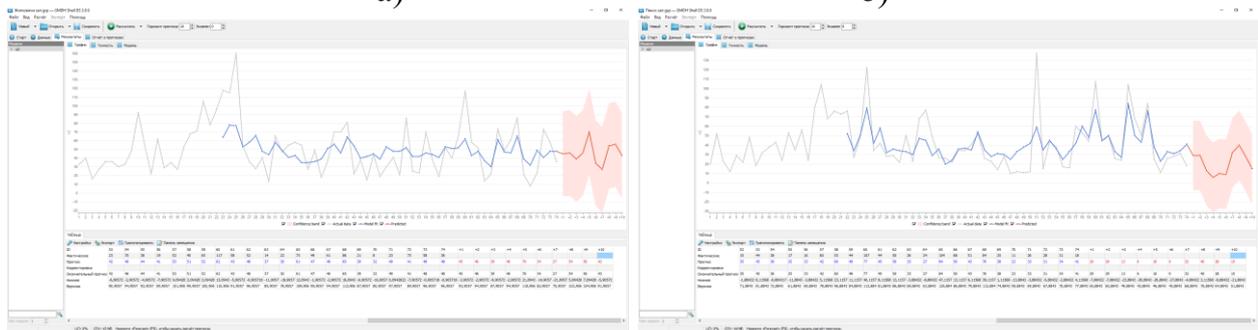
**Рисунок 4 – Результаты прогнозирования запасов воды в снеге по метеостанции Брест 1945–2020 гг. в программе GMDH Shell: а) график; б) точность; в) модель; г) анализ отклонений**

В результате работы программы GMDH Shell были реализованы модели способные предсказать максимальные запасы воды в снеге (рисунок 5) и максимальные высоты снега (рисунок 6) с определенной погрешностью для 5 метеостанций Белорусского Полесья.



а)

б)



в)

г)

**Рисунок 5 – Результаты прогнозирования запасов воды в снеге по метеостанциям: а) Василевичи; б) Гомель; в) Житковичи; г) Пинск**



**Рисунок 6 – Результаты прогнозирования высоты снежного покрова по метеостанциям:  
а) Брест; б) Василевичи; в) Гомель; г) Житковичи; д) Пинск**

Анализируя изменчивость запасов воды в снеге, как определяющего фактора весеннего половодья рек Беларуси, необходимо, прежде всего, отметить цикличность максимальных значений запасов воды в снеге и достаточно строгую их периодичность в рядах наблюдений (рисунок 5). В установленной цикличности объективно отражаются закономерности внутритерриториального пространственного распределения максимальных значений запасов воды в снеге. Согласно моделям, в Бресте и Пинске максимальные запасы воды в снеге ожидаются в 2027 году, соответственно – 43 мм и 40 мм; в Василевичах и Гомеле – в 2025 г., соответственно – 86 мм и 62 мм; в Житковичах – в 2024 г. 70 мм. Анализируя различные модели, можно сделать вывод, что некоторые из них имеют бóльшую погрешность при прогнозировании, однако при этом сохраняются пики в значениях запасов воды в снеге. Поэтому если значения и усредняются, то годы, на которые выпадают максимальные или минимальные значения сохраняются.

Запасы воды в снеге получаются на основе измерений высоты снежного покрова и его плотности, поэтому важно знать и прогнозы высоты снега. Анализируя графики, согласно моделям прогнозирования (рисунок 6), максимальные высоты снежного покрова по метеостанциям Белорусского Полесья следую-

щие: Брест – 2026 г. 22 см, Василевичи – 2025 г. 57 см, Гомель – 2024 г. 46 см, Житковичи – 2029 г. 60 см, Пинск – 2027 г. 30 см.

### **Заключение**

В данной работе прогнозные оценки снегонакопления на территории Белорусского Полесья выполнены на основе анализа данных характеристик снежного покрова: максимальных запасов воды в снеге – одной из важнейших его характеристик, информация о которой необходима для прогнозирования речного стока, управления водными ресурсами, а также для ряда отраслей экономики, прежде всего гидроэнергетики и сельского хозяйства; максимальных высот снежного покрова. Большая интенсивность снеготаяния может приводить к локальным проблемам на водосборах равнинных рек Белорусского Полесья. Вклад снеготаяния в речной сток является значительным. Поэтому прогнозирование характеристик снежного покрова позволит районировать территории по степени затопления поймы половодьем различной обеспеченности.

### **Список цитированных источников**

1. Мешик, О. П. Оценка запасов воды в снеге, формирующих весенние половодья на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Природнае асяроддзе Палесся : асаблівасці і перспектывы развіцця / Мінск : Беларускае навука, 2022. – № 13. – С. 20–22.
2. Мешик, О. П. Роль снежного покрова в формировании весеннего половодья на реках Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Мелиорация. – 2020. – № 4 (94). – С. 35–40.
3. Мешик, О. П. Запасы воды в снеге, формирующие весенние половодья на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Международной научно-практической конференции, Горки, 11–12 марта 2021 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадровой политики, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия ; редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – С. 149–153.
4. Meshyk, A., Barushka, M. & Marozava, V. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus. *Environ Sci Pollut Res* 28, 18826–18836 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09638-8>.
5. Мешик, О. П. Особенности оценки запасов воды в снеге и их пространственно-временной изменчивости на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста, 12–14 сентября 2019 г. : в 2 ч. / под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 2 – С. 34–37.
6. Волчек, А. А. Оценка водного эквивалента снега по данным пассивного микроволнового сканирования земной поверхности с использованием искусственных нейронных сетей для территории Российской Федерации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(1). – С. 43–51. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-43-51>.
7. Петров, Д. О. Опыт прогнозирования весенних наводнений с использованием спутниковой информации о снеготаянии на речном водосборе / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк // Водные ресурсы и климат : сборник материалов докладов V Международного Водного Форума / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 197–201.

8. Пьянков, С. В. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, П. Г. Михайлюков // Лёд и Снег. – 2019. – № 59(4). – С. 494–508. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-423>.

9. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2020 гг.

10. Group method of data handling - Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Group\\_method\\_of\\_data\\_handling](https://en.wikipedia.org/wiki/Group_method_of_data_handling). – Дата доступа: 14.11.2022.

11. Learning algorithms [GMDH Shell Documentation] (gmdhsoftware.com) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://gmdhsoftware.com/docs/learning\\_algorithms](https://gmdhsoftware.com/docs/learning_algorithms). – Дата доступа: 14.11.2022.

УДК 631.459

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

*О. П. Мешук<sup>1</sup>, А. С. Протасевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии  
УО «Брестский государственный технический университет»,  
Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

<sup>2</sup> Аспирант кафедры природообустройства, преподаватель-стажер кафедры  
природообустройства Брестского государственного технического университета,  
Брест, Беларусь, e-mail : protasevichnastua@gmail.com

### **Реферат**

В работе рассмотрены факторы, определяющие возникновение эрозионных процессов почв на территории Беларуси. Анализируются методы расчета объемов смытой почвы и дефляционный потенциал ветра. Дана оценка распространения эрозионных процессов на территории республики. Выявлены площади, занимаемые эрозионно-опасными почвами.

**Ключевые слова:** почва, деградация земель, эрозионные процессы, земельные ресурсы, водная эрозия, ветровая эрозия.

## THE CURRENT STATE OF THE ERODED SOILS ON THE TERRITORY OF BELARUS

*A. P. Meshyk, A. S. Pratasevich*

### **Abstract**

The paper considers certain factors which determine the occurrence of soil erosion on the territory of Belarus. It presents an analysis of methods for calculating the volumes of washed away soil and the deflationary potential of the wind. The authors provide an assessment of the spread of erosion processes on the territory and reveal some transformations of the areas with erosion-hazardous soils.