

УДК 551.1/.4(476)

**Анна Николаевна Маевская¹, Николай Николаевич Шешко²,
Максим Альбертович Богдасаров³**

¹магістр геогр. наук, аспірант каф. географіі і прыродопользавання
Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна

²канд. техн. наук, доц., нач. науч.-исслед. части
Брэсцкага дзяржаўнага тэхнічнага ўніверсітэта

³д-р геол.-минерал. наук, проф., член-корр. НАН Беларусі,
проф. каф. географіі і прыродопользавання
Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна

Anna Maevskaya¹, Nikolay Sheshko², Maksim Bogdasarov³

¹Master of Geographical Sciences, Postgraduate Student
of the Department of Geography and Environmental Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

²Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department
of the Brest State Technical University

³Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,
Professor of the Department of Geography and Nature Management
of the Brest State A. S. Pushkin University

e-mail: ¹maevskaya.anna@inbox.ru; ²optimum@tut.by; ³bogdasarov73@mail.ru

СТРУКТУРНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГРОДНЕНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ*

Представлен опыт создания комплекта структурных геологических карт четвертичных отложений территории Гродненской области. Процесс составления карт состоял из нескольких последовательных этапов, реализованных с применением программного продукта ArcGIS 10.5. В целом с использованием представленной в работе методики был выполнен набор карт для отдельных стратиграфических слоев четвертичной системы. В результате картографирования детализированы особенности геологического строения четвертичных отложений региона (на основании использования в ходе картирования наиболее полных материалов о буровой изученности территории). Применение в процессе построения геоинформационных систем позволит в перспективе выполнять быстрое обновление созданных картографических материалов.

Ключевые слова: Гродненская область, четвертичные отложения, ГИС-картографирование, структурно-геологические карты, большие данные.

Structural Geological Mapping of Quaternary Deposits of the Grodno Region Using Gis Technologies

The article presents the experience of creating a set of structural geological maps of quaternary deposits in the Grodno region. The mapping process consisted of several sequential steps implemented using the ArcGIS 10.5. In general, using the methodology presented in this article, a set of maps for individual stratigraphic layers of the Quaternary system was made. As a result of mapping, the features of the geological structure of the quaternary deposits of the region are detailed (based on the use of the most complete materials on the drilling study of the territory during the mapping). The use of geoinformation systems in the process of building will allow to quickly update the created cartographic materials in future.

Keywords: Grodno region, quaternary sediments, GIS mapping, structural-geological maps, big data.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках выполнения задания «Разработка геолого-информационной модели кайнозойских отложений территории Брестской и Гродненской областей как основы для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Введение

Четвертичные отложения получили повсеместное распространение в пределах территории Гродненской области. Литологическое разнообразие данных отложений позволяет рассматривать их в качестве перспективной региональной ресурсной базы полезных ископаемых, в первую очередь строительных материалов, что обуславливает необходимость серьезной детализации особенностей их строения как основы для выполнения качественного прогноза и оценки перспектив освоения минерально-сырьевого потенциала территории.

Реконструкция строения стратиграфических горизонтов (кровли и подошвы пластов) может быть реализована путем создания структурных геологических карт, которые представляют собой плоские графические модели в изолиниях фигур седиментационных поверхностей, образовавшихся в процессе осадконакопления, или условных хроностратиграфических граничных поверхностей [1]. Основой для их создания выступают результаты бурения скважин для технологических целей или разведки на различные виды природных ресурсов. Построение таких карт легко поддается автоматизации и моделированию в программной среде. Именно поэтому в практике их создания активно применяется цифровое геологическое картирование.

В Республике Беларусь накоплен значительный опыт в области составления структурных карт, которые выполнены преимущественно для отдельных геологических структур: Припятского прогиба, Подляско-Брестской и Оршанской впадин, Белорусской антеклизы (З. А. Горелик, И. Д. Кудрявец, В. Б. Окушко, В. С. Конищев, Г. В. Зиновенко, В. И. Толстошеев, М. А. Нагорный и др.), месторождений полезных ископаемых (Э. А. Высоцкий, Н. А. Петрова и др.) [2–4], единиц физико-географического районирования [5].

Гораздо меньше внимания уделено составлению таких карт в привязке к отдельным административно-территориальным единицам [6]. Кроме того, подготовка выполненных до настоящего времени картографических материалов данного типа осуществлялась в разные временные периоды с использованием различных методик построения, в связи с чем актуальным на современном этапе видится создание комплектов структурных геологических карт отдельных административно-территориальных единиц, реализованных по единой методике с применением геоинформационных систем, позволяющих получить качественную детальную картину строения подземного рельефа.

В данной работе представлен опыт создания структурных геологических карт для четвертичных отложений Гродненской области. Исходными данными для их составления послужили материалы буровой изученности территории региона, предоставленные государственным научным учреждением «Институт природопользования НАН Беларуси» и государственным предприятием «Научно-производственный центр по геологии». Исходная база данных включает около 16 000 записей, дающих информацию о более чем 2 000 скважин. К каждой скважине на карте привязано несколько записей для каждого из горизонтов четвертичной системы, которые были вскрыты данной скважиной. Стоит отметить и неравномерность в размещении скважин по территории области.

Учитывая значительные объемы исходных данных, а также их принадлежность к типу геопространственной информации, их качественная обработка возможна с применением геоинформационных систем, которые позволяют:

- 1) выполнять предварительный анализ данных и выявить ошибки, которые в них присутствуют;
- 2) проводить интерполяцию в автоматическом режиме с минимальными временными затратами, несмотря на большой объем представленных данных;
- 3) применять к имеющимся данным различные способы построения, сравнивать полученные модели;

- 4) проводить математические операции с построенными поверхностями;
- 5) выполнять качественное оформление и компоновку итоговых карт.

Методика исследования

Методика построения структурных геологических карт четвертичных отложений Гродненской области включала несколько последовательных этапов (рисунок 1), реализованных с использованием настольного программного продукта ArcGIS 10.5. Более подробно остановимся на них ниже.

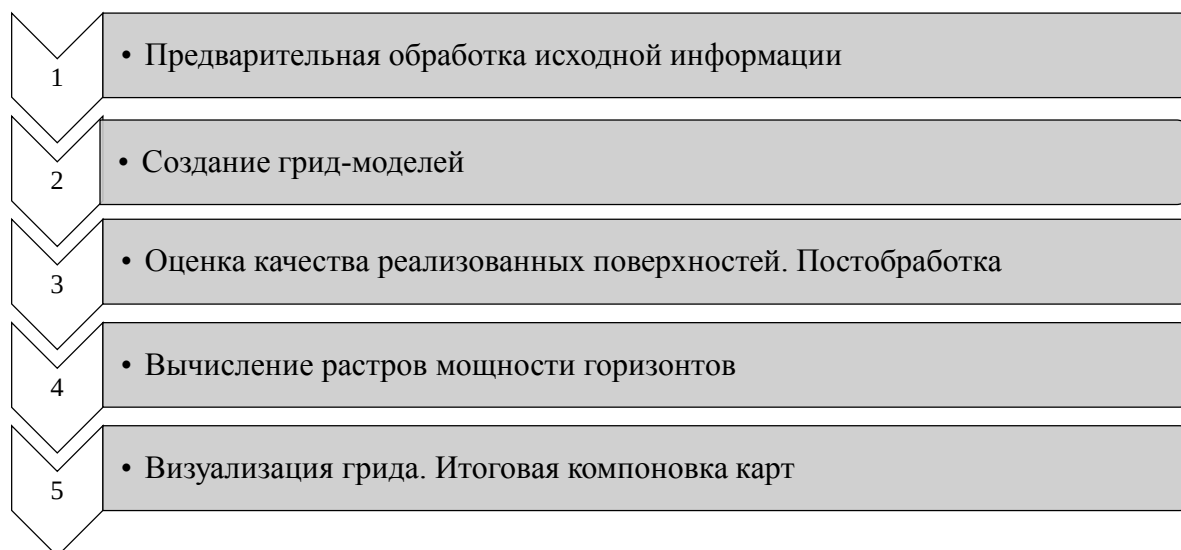


Рисунок 1. – Основные этапы создания комплекта структурных геологических карт четвертичных отложений Гродненской области

Предварительная обработка исходной информации. На данном этапе была выполнена предварительная обработка имеющихся скважинных данных с целью устранения ошибок, которые могут присутствовать в них. Такие ошибки важно исключить до создания карты для получения в конечном итоге качественной картографической модели. Для обнаружения аномалий в имеющемся наборе информации был использован метод кригинга (kriging), в частности – значения, полученные в результате ошибок интерполяции при использовании метода ординарного кригинга. Выбор данного метода был обусловлен тем, что он в отличие от других методов позволяет, с одной стороны, обнаруживать данные с ошибками и выполнять их быстрое удаление, а с другой – сохранять данные с естественными аномалиями.

Создание грид-моделей. На данном этапе выполнялось построение интерполяционных грид-моделей кровли и подошвы пластов четвертичных отложений Гродненской области, которое включало несколько подэтапов [7]:

1. **Выбор варианта построения геологической модели.** Моделирование выполнялось поэтапно, от более крупных стратиграфических подразделений (в данном случае «системы») к мелким – «горизонту».

2. **Подготовка входных данных.** Данный этап включал работы по объединению стратиграфических подразделений, представленных в исходной базе данных, а также выборку слоев из объединенной базы данных, где в качестве критерия выступали стратиграфические подразделения.

3. **Выбор метода интерполяции.** Для построения грид-моделей кровли и подошвы пластов, представленных в данной работе, было рассмотрено применение нескольких методов интерполяции, предлагаемых в ArcMap: IDW, Natural Neighbor, Kriging, Topo to

Raster. В целом все виды интерполяции, представленные в данном наборе инструментов, показывают корректные результаты, что обусловлено достаточно густой сетью скважин. Но, учитывая тот факт, что в данном случае речь идет о создании моделей рельефа, был выбран инструмент Topo to Raster.

4. *Создание интерполяционных грид-моделей кровли и подошвы пластов.* На основе полученных в ходе выборки слоев, а также выбранного метода интерполяции (Topo to Raster) осуществлялось построение поверхностей кровли и подошвы пластов.

Оценка качества реализованных поверхностей. Постобработка. В рамках данного этапа была выполнена проверка корректности построенных грид-моделей. Для выявления ошибок моделирования проведена переклассификация созданных грид-моделей (имеющих одинаковое разрешение растра) по значениям кровля/подошва. Затем с использованием инструмента Map Algebra, (набор инструментов Spatial Analyst) производилось вычитание переклассифицированных поверхностей. При вычитании растровых поверхностей задавался «экстент обработки» (как у большего по размерам растрового слоя). Это обусловлено тем, что отложения некоторых горизонтов покрывают не всю территорию картографируемого региона. После вычитания растров ячейкам в местах, где отложения одного из стратиграфических подразделений отсутствуют, автоматически присваивалось значение «no data», вместо которого после обработки функцией isNull могут быть подставлены необходимые показатели из другого растра.

В результате обработки растра было сформировано два варианта поверхностей:

- 1) поверхности, где ошибки в построении отсутствуют (модель корректна, и ее дальнейшая обработка не требуется);
- 2) имеются ошибки в построении (поверхность смоделирована некорректно, и требуется проведение операции уравнивания).

Для уравнивания некорректно смоделированных поверхностей был использован инструмент Con (Conditional), с помощью которого задавались необходимые параметры для уравнивания моделей.

Вычисление растров мощности горизонтов. На данном этапе на основе полученных грид-поверхностей с применением инструмента «Map Algebra» (модуль Spatial Analyst) были рассчитаны показатели мощности по отдельным горизонтам четвертичной системы.

Визуализация грида. Итоговая компоновка карт. На данном этапе на основе полученных грид-поверхностей выполнялась их визуализация в виде карт различных типов. В данном исследовании реализовывались карты трех типов: контурные карты, карты-растры и рельеф с отмывкой. В завершение был разработан макет компоновки карт. Для его составления с учетом реализуемого типа карт размещались все элементы, формировался общий вид с учетом основных рекомендаций по картосоставлению. Выполнялась разработка дизайнерских приемов оформления и символизации карт, способ отображения картографического изображения. Подбирались интервалы классов, цвета, типы линий и другие графические элементы.

Результаты и их обсуждение

Таким образом, с использованием вышеописанной методики был составлен комплект структурно-геологических карт горизонтов четвертичных отложений Гродненской области на основе интерпретации данных о геологическом строении отложений четвертичной системы. В целом по каждому горизонту были сформированы следующие компоновки карт: карты гипсометрии кровли и подошвы; карты глубин залегания отложений; карты мощности отложений; карты мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами кровли горизонтов.

Стоит отметить, что на основе созданного комплекта карт для территории Гродненской области можно создавать комплекты карт для любого административного района, расположенного в ее границах (рисунок 2). Это делает его потенциально востребованным для использования территориальными органами государственного управления.

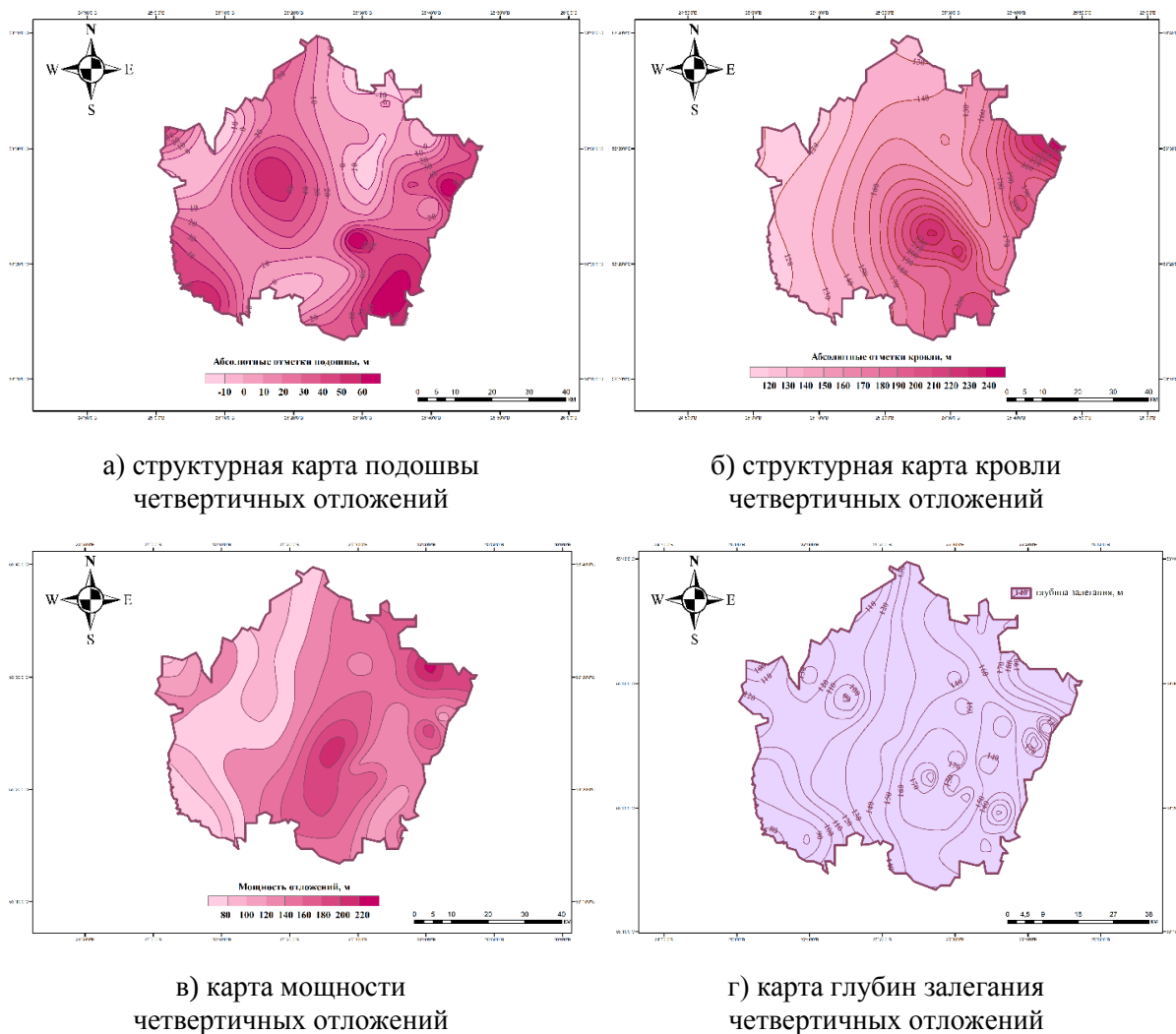
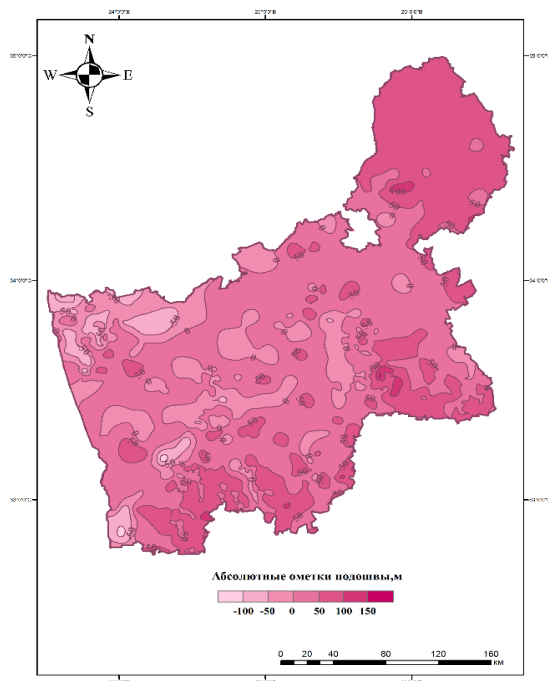


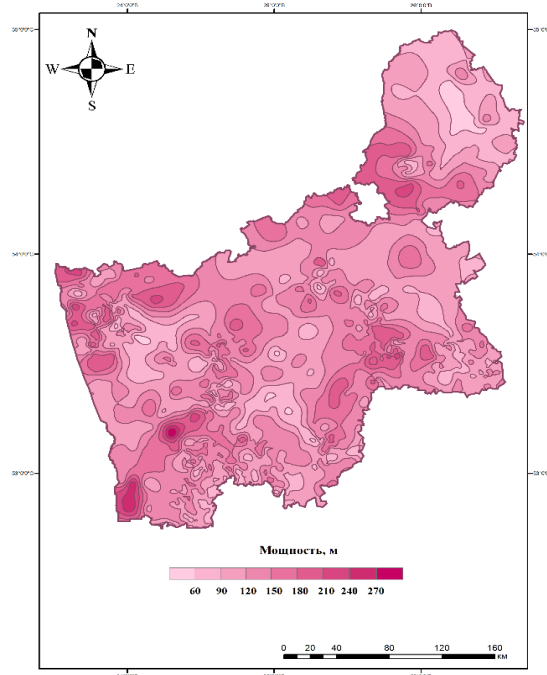
Рисунок 2. – Примеры карт, выполненных для Дятловского р-на

Анализ реализованных картографических материалов позволил детализировать особенности геологического строения четвертичных отложений территории Гродненской области (рисунок 3). Четвертичные образования в пределах территории Гродненской области сплошным чехлом покрывают более древние образования. Поверхность подошвы четвертичных отложений на территории региона неровная. Разность высот превышает 200 м (рисунок 3, а). Абсолютные отметки изменяются от –168 до 183 м. При этом наиболее высокое положение они занимают на севере и в юго-восточных и восточных частях области (более 100 м). Мощность четвертичных отложений в понижениях и на склонах древних водоразделов достигает своих максимальных значений (более 200 м). Глубина залегания плейстоценовых отложений в среднем составляет 140–160 м, их мощность изменяется в интервале от 50 до 280 м (рисунок 3, б). Подошва голоценовых отложений наиболее приподнята в восточных, южных и северо-западных частях области (более 150 м). Наименьшие высоты фиксируются в западной ее части – до 100 м (рисунок 3, в).

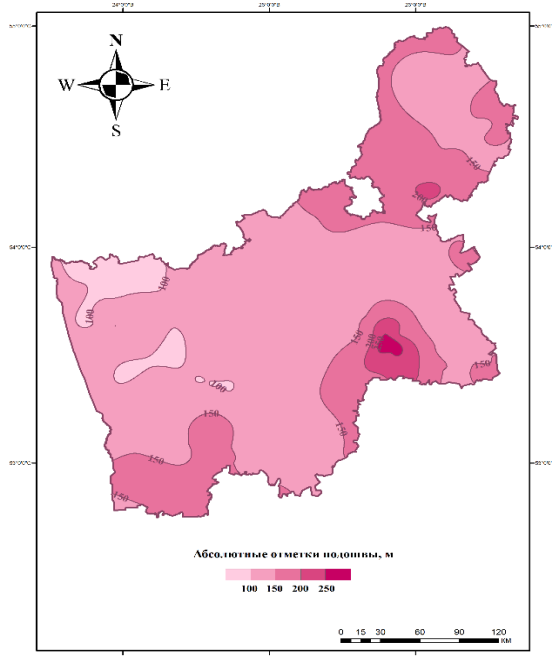
Мощность отложений изменяется в интервале от 0,5 до 15 м (рисунок 3, г). Глубина залегания в среднем составляет 15 м.



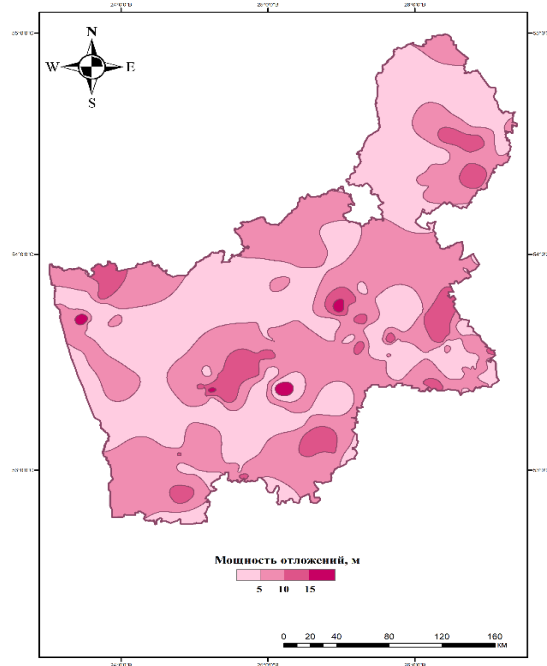
а) структурная карта подошвы отложений плейстоцена



б) карта мощности отложений плейстоцена



в) структурная карта подошвы отложений голоцена



г) карта мощности отложений голоцена

Рисунок 3. – Особенности залегания четвертичных отложений на территории Гродненской области

Заклучение

Таким образом, в ходе проведенного исследования с использованием метода интерполяции *topo to raster* выполнено построение набора грид-моделей подошвы и кровли горизонтов четвертичной системы. С целью повышения их качества выполнена проверка корректности построенных моделей, в результате которой выявлены как корректно, так и некорректно смоделированные поверхности. Для некорректно построенных моделей поверхностей была проведена процедура уравнивания.

На основе реализованных грид-моделей выполнен комплект карт для каждого горизонта четвертичной системы, включающий следующие компоновки: карты гипсометрии кровли и подошвы; карты глубин залегания отложений; карты мощности отложений; карты мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами мощности вскрышных пород; карты мощности отложений, совмещенные с картами кровли горизонтов.

В целом в ходе выполнения работы получен ряд новых картографических материалов по особенностям строения стратиграфических горизонтов четвертичной системы Гродненской области. Применение в ходе построения геоинформационных технологий дает возможность их быстрого и своевременного обновления в случае получения новой информации о строении данной территории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минова, Н. П. Построение структурных карт : метод. указания и задания для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Структурная геология» / Н. П. Минова. – Ухта : УГТУ, 2010. – 28 с.
2. Геологическое строение и условия формирования Октябрьского месторождения калийных солей в Припятском прогибе / Э. А. Высоцкий [и др.] // Літасфера. – 2001. – № 15. – С. 52–64.
3. Толстошеев, В. И. Геологическое строение восточно-казимировского и южно-трамецкого поднятий Припятского прогиба / В. И. Толстошеев // Літасфера. – 2011. – № 2 (35). – С. 54–75.
4. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
5. Курлович, Д. М. Пространственная дифференциация и динамика морфоструктур Белорусского Поозерья / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2014. – 158 с.
6. Крошинский, В. А. Использование ГИС в построении погоризонтных структурно-фациальных карт-схем четвертичной толщи / В. А. Крошинский // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы конкурса ГИС-проектов студентов и аспирантов ВУЗов Республики Беларусь, проведенного в рамках празднования Междунар. дня ГИС – 2017, Минск, 15 нояб. 2017 г. / редкол.: Н. В. Жуковская (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2017. – С. 108–110.
7. Маевская, А. Н. Алгоритм построения моделей структурных геологических поверхностей с использованием геоинформационных технологий / А. Н. Маевская // Актуальные проблемы наук о Земле: исследование трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 1. – С. 92–96.

REFERENCES

1. Minova, N. P. Postrojenije strukturnykh kart : mietod. ukazaniya i zadaniya dlja vypolnienija laboratornoj raboty po disciplinie «Strukturnaja geiologija» / N. P. Minova. – Ukhta : USTU, 2010. – 28 s.
2. Geiologichieskoje strojenije i uslovija formirovanija Oktjabr'skogo miestorozhdenija kalijnykh soliej v Pripiatskom progibie / Ye. A. Vysockij [i dr.] // Litasfiera. – 2001. – № 15. – S. 52–64.
3. Tolstoshejev, V. I. Geiologichieskoje strojenije vostochno-kazimirovskogo i juzhno-tramieckogo podnietij Pripiatskogo progiba / V. I. Tolstoshejev // Litasfiera. – 2011. – № 2 (35). – S. 54–75.
4. Geiologija Bielarusi / A. S. Makhnach [i dr.]. – Minsk : In-t geol. nauk NAN Bielarusi, 2001. – 815 s.
5. Kurlovich, D. M. Prostranstviennaja diffierenciacija i dinamika morfostruktur Bieloruskogo Poozierja / D. M. Kurlovich. – Minsk : BGU, 2014. – 158 s.
6. Kroshinskij, V. A. Ispol'zovanie GIS v postrojenii pogorizontal'nykh strukturno-facial'nykh kart-skhiem chietviertichnoj tolshchi / V. A. Kroshinskij // GIS-tiekhnologii v naukakh o Ziemlie : materialy konkursa GIS-projektov studentov i aspirantov VUZov Riespubliki Bielarus', proviedionnogo v ramkakh prazdnivanija Miezhdunar. dnia GIS – 2017, Minsk, 15 nojab. 2017 g. / riedkol.: N. V. Zhukovskaja (otv. ried.) [i dr.] – Minsk : BGU, 2017. – S. 108–110.
7. Majevsckaja, A. N. Algoritm postrojenija modeli strukturnykh geiologichieskikh povierkhnostiej s ispol'zovanijem gieoinformacionnykh tiekhnologij / A. N. Majevsckaja // Aktual'nyje problemi nauk o Ziemlie: issliedovanie transgranichnykh tierritorij : sb. materialov IV Miezhdunar. nauch.-prakt. konf., priuroch. k 1000-lietiju Briesta, Briest, 12–14 sient. 2019 g. : v 2 ch. / In-t prirodopol'zovanija NAN Bielarusi, Briest. gos. un-t im. A. S. Pushkina, Briest. gos. teikhn. un-t ; riedkol.: A. K. Karabanov, M. A. Bogdasarov, A. A. Volchik. – Briest : BrGU, 2019. – Ch. 1. – S. 92–96.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 23.09.2021