

УДК 556.3 :556.334 : 477.61 : 622.6

DOI: 10.46698/VNC.2026.94.99.001

Оригинальная статья

Геоэкологические аспекты трансформации гидросферы на участках «мокрой» ликвидации угольных шахт (на примере шахты «Вергелевской»)

А.К. Коптева 

Донбасский государственный технический университет,
Россия, 294204, г. Алчевск, пр. Ленина, 16;

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
e-mail: alevtina.kopteva@bk.ru

Статья поступила: 04.03.2026, доработана: 01.06.2026, принята к публикации: 03.06.2026

Резюме: Актуальность работы. Ликвидация угледобывающих предприятий приводит к ухудшению геоэкологической ситуации, которая охватывает не только подработанное пространство, но и близлежащие территории. В результате прекращения ведения горных работ на шахте «Вергелевская» вблизи г. Луганска произошла трансформация подземной и поверхностной гидросферы. Это, в свою очередь, привело к изменению объема стока и значительным изменениям гидродинамических характеристик подработанного массива. В связи с этим возникает необходимость на примере шахты «Вергелевская» более точного определения характера трансформации гидросферы на участках ликвидации угольных шахт, осуществляемой способом затопления и оценить степень её влияния на геоэкологическое состояние горного массива, подземных и поверхностных водных объектов. **Цель исследования.** Установить характер трансформации гидросферы на участках «мокрой» ликвидации угольных шахт и оценить степень её влияния на геоэкологическое состояние горного массива, подземных и поверхностных водных объектов. **Материал и методы.** Материалом для настоящего исследования послужили результаты обследований и наблюдений, выполненных автором в 2024–2025 гг., а также данные из производственных отчетов геологических предприятий и отчетов «Главного управления реструктуризации шахт», литературные данные. Кроме стандартных методов геоэкологии, гидрогеологии, гидрологии и географии, использовались математические методы обработки спутниковых данных. **Результаты исследования.** Собраны и проанализированы данные по водопритокам и состоянию выходов подземных вод в шахтных выработках и карьерах, в том числе путем анализа спутниковых снимков поверхности Земли. Дана характеристика геомеханических процессов и гидрогеологических явлений на поле шахты «Вергелевская» в период с 1953 по 2025 годы. Выполнен анализ состояния обводненных породных массивов и гидродинамических изменений поверхностного и подземного стоков в условиях прекратившейся угледобычи. Установлено, что главным фактором трансформации породных массивов для рассматриваемой территории выступает обводненность. Сочетание открытого и закрытого способов отработки запасов угля в границах одного шахтного поля, которое по завершении угледобычи является саморегулируемой системой, приводит к созданию опасности случайного перераспределения подземных и поверхностных стоков.

Ключевые слова: ликвидация угольных шахт, трансформация гидросферы, подземный сток, поверхностный сток, шахта «Вергелевская».

Благодарности: Исследования выполнены за счет средств федерального бюджета (код темы: FRRU-2024-0004 в ЕГИСУ НИОКТР).

Для цитирования: Коптева А.К. Геоэкологические аспекты трансформации гидросферы на участках «мокрой» ликвидации угольных шахт (на примере шахты «Вергелевской»). *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(2): 209–219. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.99.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.94.99.001

Original paper

Geoecological aspects of hydrosphere transformation in the areas of “wet” coal mine liquidation (case study of the Vergelevskaya mine)

A.K. Kopteva 

Donbass State Technical University,
16 Lenin Ave, Alchevsk 294204, Russian Federation;
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya Str.,
Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: alevtina.kopteva@bk.ru

Received: 04.03.2026, revised: 01.06.2026, accepted: 03.06.2026

Abstract: Relevance. The liquidation of coal mining enterprises leads to a deterioration in the geo-ecological situation, which affects not only the mined-out area but also the surrounding territories. As a result of the cessation of mining operations at the Vergelevskaya mine near Lugansk, there has been a transformation of the underground and surface hydrosphere. This, in turn, has led to changes in the volume of runoff and significant alterations in the hydrodynamic characteristics of the mined-out massif. Therefore, it is necessary to determine more accurately the nature of the transformation of the hydrosphere in the areas of liquidation of coal mines using the flooding method, as exemplified by the Vergelevskaya mine, and to assess the extent of its impact on the geo-ecological state of the mountain massif, underground water bodies, and surface water bodies. **Aim.** The purpose of the study is to establish the nature of the transformation of the hydrosphere in the areas of “wet” liquidation of coal mines and to assess the extent of its impact on the geo-ecological state of the mountain massif, underground water bodies, and surface water bodies. **Material and methods.** The material for this study was obtained from the results of surveys and observations conducted by the author in 2024–2025, as well as from production reports of geological enterprises and reports of the Main Directorate for Mine Restructuring, and from literature data. In addition to standard methods of geo-ecology, hydrogeology, hydrology, and geography, mathematical methods of processing satellite data were also used. **Results.** Data on water inflows and the state of underground water outlets in mine workings and quarries were collected and analyzed, including through the analysis of satellite images of the Earth’s surface. The characteristics of geomechanical processes and hydrogeological phenomena in the Vergelevskaya mine field were provided for the period from 1953 to 2025. The state of water-saturated rock masses and the hydrodynamic changes in surface and underground runoff were analyzed in the context of the cessation of coal mining. It was established that the main factor in the transformation of rock masses in the area under consideration is water saturation. The combination of open-pit and underground mining methods within the same mine field, which is a self-regulating system after the cessation of coal mining, poses a risk of accidental redistribution of underground and surface runoff.

Keywords: liquidation of coal mines, transformation of the hydrosphere, underground runoff, surface runoff, Vergelevskaya mine.

Acknowledgements: The research was carried out at the expense of the federal budget (subject code: FRRU-2024-0004 at EGISU NIOKTR).

For citation: Kopteva A.K. Geoecological aspects of hydrosphere transformation in the areas of “wet” coal mine liquidation (case study of the Vergelevskaya mine). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(2): 209–219. DOI: 10.46698/VNC.2026.94.99.001

Введение

Сравнительный анализ зарубежных и отечественных достижений в исследовании трансформации поверхностного и подземного стока на угледобывающих территориях показывает, что максимальный ущерб окружающей среде причиняет трансформация подземной и поверхностной гидросферы, а именно изменение и перераспределение поверхностного и подземного стока. Проблемами трансформации подземного и поверхностного стока Центрального Донбасса занимался ряд исследователей [Зубова, Зубов, 2008; Павлов и др., 2022; Долгих, 2025; Должиков и др., 2024 и др.].

Изучением угольных карьерно-отвальных комплексов северного склона Донецкого кряжа, их пространственных и динамических характеристик занимался В.В. Кандауров [2019].

Геоэкологические работы в сходных по геолого-гидрогеологическому строению угленосных районах выполнены в Ростовской области [Мохов, 2012, 2014, 2023; Закрыткин, 2023], на Урале [Рыбникова, Рыбников, 2018; Рыбников, Рыбникова, 2025; Рыбников и др., 2020] и в других регионах. Закономерностям трансформации гидродинамических характеристик горного массива угледобывающих территорий Китая посвящены работы [Chen, Mao, 2012; Li Chun-yi, 2008; Kul Si-ming, Li Chun-yi, 2009; Ji Changsheng, 2008; Ni et al., 2008; Dong et al., 2019].

Для получения более полной картины при изучении геомеханических процессов изменения горного массива, а именно коллекторских и фильтрационных свойств, важно использовать разнообразные косвенные данные. Гидрогеологические явления, возникающие в результате добычи угля, играют ключевую роль в анализе источников обводнения и водопритока. Соответственно, о геомеханической трансформации недр можно судить по изменениям подземной гидросферы, гидродинамическим свойствам массива, проявлениям подземных вод в горных выработках и на земной поверхности, а также другим данным. Ряд из них поддается вполне надежной геомеханической интерпретации с привлечением общегидрогеологических закономерностей [Мохов, 2014].

Материал и методы

В настоящем исследовании использованы результаты обследований и наблюдений, выполненных автором в 2024–2025 гг., а также материалы геологических отчетов треста «Ворошиловградуглегеология», производственных объединений «Кадиевуголь» и «Стахановуголь», фондовые материалы государственного унитарного предприятия «Главное управление реструктуризации шахт», материалы проекта затопления горных выработок ВОК и ТКП шахты «Никанор-Новая», выполненного в 2022 г., и другие производственные отчеты.

Кроме стандартных методов геоэкологии, гидрогеологии, гидрологии и географии, в настоящем исследовании использовались спутниковые методы. В частности, для создания схем расположения карьерно-отвальных комплексов выполнен мониторинг изменения состояния ландшафтов с помощью программного приложения «Google Планета Земля». Классификация спутниковых данных проводилась двумя способами: 1) визуальным – путём экспертного сравнения разновременных снимков; 2) путём измерений с использованием компьютерных программ, включающих широкий спектр методов для идентификации, описания и количественного определения изменений между изображением одной и той же территории в разное время. В результате измерения площади и протяженности карьерно-отвальных комплексов и сравнения их с общей площадью водосбора и протяжённостью речной сети получены показатели площадного и линейного коэффициента ландшафтных изменений.

в границах ведения горных работ и родники № 2-5 – в границах горного отвода закрытой шахты «Вергелевская», но за границами ведения горных работ (рис. 1).

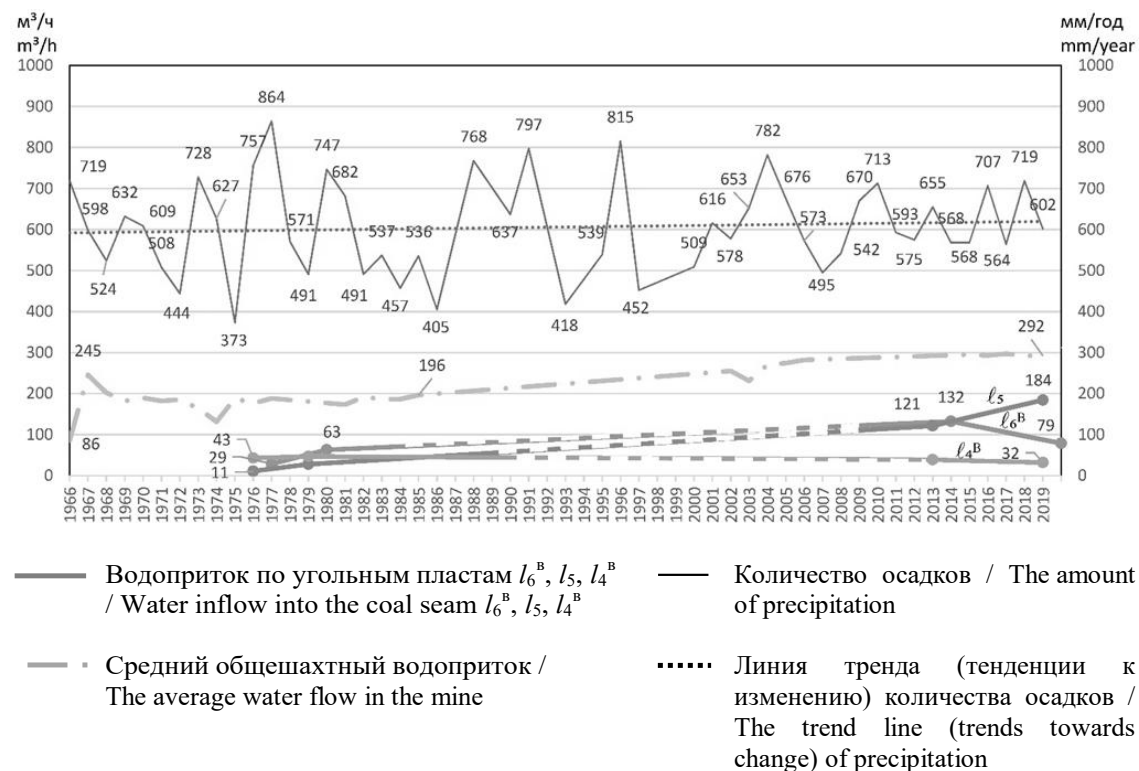


Рис. 2. График изменения среднего общешахтного водопитока и водопитока по пластам закрытой шахты «Вергелевская» за период 1966–2019 гг. /

Fig. 2. Graph of changes in the average total water intake and water inflow across the strata of the closed "Vergilevskaya" mine for the period 1966–2019

По результатам топографической съемки масштаба 1:10 000, проведенной в 1980-х гг., на топографической карте не обозначено ни одного из ранее описанных родников на поле закрытой шахты «Вергелевская».

Места вероятного выхода шахтных вод и родники на поле закрытой шахты «Вергелевская» были обследованы 02.02.2025 г. и 16.03.2025 г. Выходов шахтных вод не обнаружено.

Родник № 1 находился в границах ведения горных работ закрытой шахтой № 1-47 на поле шахты «Вергелевская». Шахта отрабатывала пласт угля m_3 в 1955–1958 гг. на абсолютной отметке +255,5 мБС (глубина подработки в районе родника 53 м). В 1959 г. шахта № 1-47 была закрыта.

Появление информации о роднике № 1 в отчете по состоянию на 1976 г. связано с залегающими выше угольного пласта m_3 обводненными известняками и песчаниками, которые после затопления закрытой шахты № 1-47, отрабатывавшей угольный пласт m_3 на небольшой глубине, восстановили свою водообильность и стали питать родник № 1.

В 1983 г. подвигание забоя по угольному пласту l_5 происходило на абсолютной отметке +19,9 мБС вблизи родника № 1, что стало одной из причин его высыхания.

Топографической съемкой масштаба 1:10 000 по состоянию на 1985 г. зафиксировано отсутствие родника № 1.

По состоянию на 2025 г. родник № 1 не восстановился.

Родник № 2 (абсолютная отметка +283,1 мБС) находится в зоне влияния горных работ закрытых шахт «Мария I» и «Мария II», обрабатывавших угольный пласт m_5 в довоенный период. Информация об этих шахтах не сохранилась.

Родник № 2 не отмечен в отчете о геологоразведочных работах 1953 г., но был показан в отчетах по состоянию на 1976 г., что связано, очевидно, с затоплением выработанного пространства закрытых шахт «Мария I» и «Мария II».

Значительная глубина разработки пласта l_6^g и отдаленность от места расположения родника № 2 позволяют отрицать связь между этим водным объектом и горными выработками шахт «Вергелевская» и «Ломоватская».

По состоянию на 2025 г. родник № 2 засыпан в ходе отработки угольного пласта m_5 открытым способом; вскрытый водоносный горизонт сформировал обводненный карьер в 100 м к северо-востоку от бывшего родника № 2.

Таким образом, состояние поверхностных водных объектов можно оценить как неудовлетворительное. Гидрографическая сеть на поле закрытой шахты «Вергелевская» была развита весьма слабо в период разведки участка Вергелевского в 1953 г. и доразведки в 1976 и 1978 гг. Появление родников № 1 и № 2 в 1976 г., отмеченных на топографической карте масштаба 1:10 000 (1980-е гг.), было связано с затоплением выработанного пространства закрытой шахты № 1-47 и закрытых шахт «Мария I» и «Мария II». Ближайшие действующие родники находятся за границами поля закрытой шахты «Вергелевская».

Оценка влияния количества осадков на обводненность поля закрытой шахты «Вергелевская»

Особенности формирования стока на водосборной площади и перемещения воды в пределах речной сети реализуются в виде статистических зависимостей прогнозируемого значения от гидрологических и метеорологических характеристик [Beven, 2020; Borsch et al., 2022].

Согласно результатам аналитического сглаживания годовой суммы осадков в г. Дебальцево, где расположена ближайшая метеостанция, выполненного в отчете «Оценка водно-ресурсного потенциала и факторов, влияющих на его формирование в Луганской Народной Республике» (Крамаренко А.А., Лысенко И.Л., Коптева А.К. – Луганск: Минприроды ЛНР, 2021. – 379 с.), в 1948–1954 гг. зафиксирован маловодный период, во время которого выпадало в среднем 393 мм/год атмосферных осадков (рис. 3).

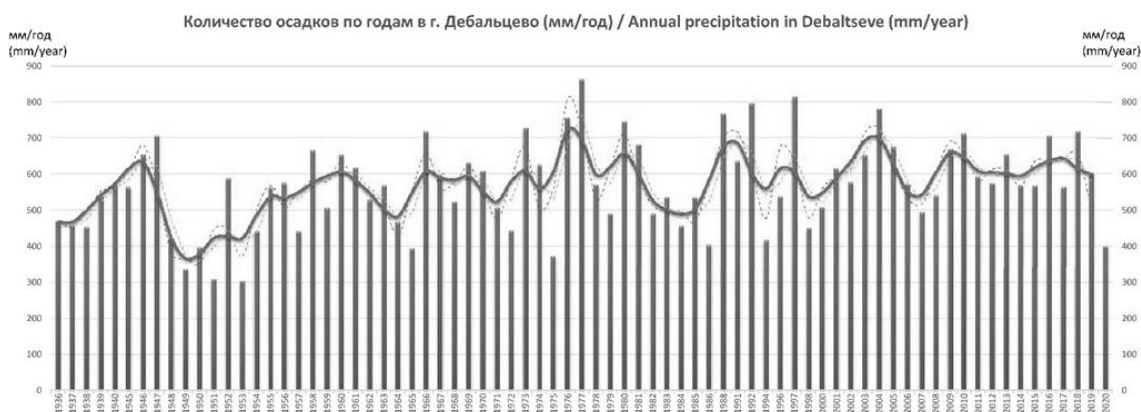


Рис. 3. Графическое представление результатов аналитического сглаживания годовой суммы осадков в г. Дебальцево (среднее значение – 571 мм в год) /

Fig. 3. Graphical representation of the results of analytical smoothing of the annual precipitation in Debaltseve (average value – 571 mm per year)

Учитывая тот факт, что родники №№ 1, 2, 3, 4, 5 не были подработаны в ходе подземной отработки запасов угля на поле шахты «Вергелевская» по состоянию на 1953 г., их отсутствие на момент проведения гидрогеологического обследования Вергелевского участка, описанного в геологическом отчете за 1953 г., связано с длительным маловодным периодом, продлившимся с 1948 по 1954 год.

Таким образом, водность родников на поле закрытой шахты «Вергелевская» до начала ведения горных работ (1953 г.) находилась в прямой зависимости от количества осадков.

В маловодный период в середине 80-х гг. XX века родники, скорее, находились в вероятностной зависимости как от количества осадков, так и от величины подземного питания за счет подземных вод затопленного выработанного пространства закрытой шахты № 1-47 и закрытых шахт «Мария I» и «Мария II».

Оценка состояния поверхности шахтного поля по спутниковым снимкам

Одним из способов оценки техногенного воздействия и последствия прошлых и текущих углеработок в условиях отсутствия данных гидрогеологических наблюдений является оценка состояния поверхности Земли по данным космоснимков сервиса «Google Планета Земля».

Родники №№ 2, 3 и 4. По состоянию на 2024–2025 гг. обследование северной части поля закрытой шахты «Вергелевская» затруднено. В связи с этим обследование родников №№ 2, 3 и 4 не проводилось. Однако анализ космоснимков сервиса «Google Планета Земля» позволяет оценить последствия открытой разработки угля в границах горного отвода закрытой шахты «Вергелевская».

Ретроспективный анализ данных сервиса «Google Планета Земля» свидетельствует, что с 2005 г. началась активная разработка залежей каменного угля открытым способом в бассейне реки Санжаровка, в верховьях ручья Горелого, в северной части горного отвода закрытой шахты «Вергелевская». Угольные карьеры и траншеи вытянутой конфигурации по выходам пластов m_5 , m_5^1 , m_6^1 , m_6^2 , m_7 в период 2005–2013 гг. сформировали карьерно-отвальные комплексы в верховье ручья Горелого, которые проходят через места расположения родников №№ 2 и 3. Выработками вскрыты водоносные горизонты, вследствие чего на всем протяжении карьеры и траншеи обводнены (см. рис. 1).

Между водоносными горизонтами угольных карьеров, отработывавших пласты m_5 , m_5^1 , m_6^1 , m_6^2 , m_7 , и выработанным пространством закрытой шахты «Вергелевская», отработывавшей пласты l_6^e , l_5 , l_4^e и m_3 (шахта № 1-47), гидрогеологическая связь отсутствует.

Карьерно-отвальные комплексы обладают характерной морфологической структурой, которая определяется свойствами вскрышных и добычных пород, геологическим строением и техникой ведения разработок угля [Кандауров, 2019]. В верховьях ручья Горелого карьерно-отвальные комплексы имеют преимущественно линейно-вытянутую конфигурацию в соответствии с выходами на поверхность угольных пластов, при этом карьеры и траншеи перпендикулярно пересекают как ручей Горелый, так и его притоки. Тем самым отвалы и карьерно-отвальные комплексы нарушают естественный сток поверхностных вод, их дренирование в нижележащие водоносные горизонты и формируют на водосборной площади ручья Горелого альтернативную гидросеть (рис. 1).

Отдельное внимание следует уделить линейному коэффициенту ландшафтных изменений (отношение протяженности карьерно-отвальных комплексов к протяженности гидросети) ручья Горелого, который составляет 235,1 %. Протяженность карьерно-отвальных комплексов в 2,35 раза превышает протяженность постоянных

водотоков ручья Горелого. Особенностью данных карьерно-отвальных комплексов является то, что практически все угольные карьеры вскрыли водоносные горизонты и являются постоянно обводненными.

Родник № 5. По результатам обследования 02.02.2025 г. за границами ведения горных работ закрытой шахты «Вергелевская» находится родник № 5. Качество воды удовлетворительное, признаки шахтных вод отсутствуют.

Таким образом, земная поверхность в северной части горного отвода закрытой шахты «Вергелевская» в бассейне реки Санжаровка, в период 2005–2013 гг. подверглась значительному техногенному влиянию. Отношение площади карьерно-отвальных комплексов к площади гидрографической единицы «водосбор ручья Горелого» (площадной коэффициент ландшафтных изменений) составляет 17,8 %.

Активная разработка залежей по выходу пласта каменного угля открытым способом привела к формированию карьерно-отвальных комплексов линейно-вытянутой конфигурации, нарушающих естественный поверхностный и подземный сток. Обводненные карьеры сформировали на площади водосбора ручья Горелого альтернативную гидросеть, в 2,35 раза более протяженную, чем гидросеть ручья Горелого.

Заключение

В настоящее время горный массив поля закрытой шахты «Вергелевская» является сложным вследствие сочетания открытого и закрытого способа отработки запасов угля в границах одного шахтного поля, а также является саморегулируемым в условиях прекратившейся угледобычи.

Систематические гидрогеологические наблюдения за уровнем подземных вод на поле закрытой шахты «Вергелевская» не ведутся. В данном случае использование косвенной гидрогеологической информации, полученной в ходе наблюдений за состоянием выходов подземных вод, шахтных выработок и карьеров по отработке запасов угля открытым способом, а также анализ космоснимков поверхности Земли открывают возможности для более точного определения характера трансформации гидросферы на участках «мокрой» ликвидации угольных шахт и оценки степени её влияния на геоэкологическое состояние горного массива, подземных и поверхностных водных объектов.

Из-за особенностей геологического строения шахты «Вергелевская» её территория в субширотном направлении разделена на северную и южную части, отделенные Никаноровским II надвигом. В южной части уголь добывался подземным способом в период 1956–2020 гг., в то время как в северной части использовались открытые горные работы в период 2005–2013 гг. Этот факт указывает на значительную гидравлическую разобщенность между этими участками.

Учитывая наличие пустотного пространства по нескольким отработанным пластам, проявление провалов на отдельных участках, отсутствие водопроявлений, можно сделать вывод о том, что на поле закрытой шахты «Вергелевская» сформировались безводные зоны. Однако, учитывая тот факт, что закрытая шахта «Вергелевская» прекратила работу только в 2020 г., насыщение массива водой будет продолжаться.

Вследствие разработки залежей по выходу пласта каменного угля открытым способом на поле закрытой шахты «Вергелевская» в период 2005–2013 гг. были образованы линейно-вытянутые карьерно-отвальные комплексы, нарушающие естественный поверхностный и подземный сток. Особенностью данных карьерно-отвальных комплексов является то, что практически все они постоянно обводнены, в то время как естественные выходы подземных вод прекратили существование и не оказывают влияния на водность временных водотоков.

Подробный анализ состояния обводненных породных массивов и гидродинамических изменений поверхностного и подземного стоков может быть применен к водосборным территориям, подверженным схожему антропогенному влиянию.

Литература

1. Долгих В.П. Оценка применимости моделей машинного обучения для прогноза гидроэкологического состояния малых рек // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 3. – С. 148–161. DOI: 10.46698/VNC.2025.82.17.001.
2. Должиков П.Н., Леонов А.А., Пронская Н.В. Факторы активизации деформаций породного массива закрытых шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 1. – С. 493–502.
3. Закруткин В.Е., Решетняк В.Н., Гибков Е.В., Складенко Г.Ю. Аутигенные минералы железа в речных отложениях Восточного Донбасса // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 102–118. DOI: 10.46698/VNC.2023.95.74.008.
4. Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Гидроэкологические проблемы Донбасса: учебное пособие. Луганск: ВГУ им. В. Даля, 2008. – 100 с.
5. Кандауров В.В. Пространственные и динамические характеристики сети угольных карьерно-отвалных комплексов у пгт. Бугаевка Перевальского района Луганской Народной Республики // Вестник Луганского национального университета им. Тараса Шевченко. Серия 5. География. Экономика. Туризм. – 2019. – № 1(25). – С. 4–8.
6. Мохов А.В. Гидравлические аспекты режима гидросферы на полях угольных шахт (на примере Восточного Донбасса) // Геология и геофизика Юга России. – 2023. – Т. 13. № 3. – С. 191–199. DOI: 10.46698/VNC.2023.93.35.015.
7. Мохов А.В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012. – Т. 8. № 3. – С. 42–49.
8. Мохов А.В. Подземные воды как индикатор геомеханических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 274–282.
9. Павлов В.И., Кусайко Н.П., Сергейчук О.В. Климатические особенности формирования стока малых рек ЛНР // Экологический вестник Донбасса. – 2022. – № 4. – С. 31–40.
10. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Гидрогеологические исследования в горном деле на постэксплуатационном этапе // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2018. – № 4. – С. 25–39. DOI: 10.1134/S0869780318040105.
11. Рыбников П.А., Рыбникова Л.С. Геофильтрационное обоснование водно-балансовых составляющих водосбора ликвидируемых угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 1-1. – С. 193–207. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_193.
12. Рыбников П.А., Рыбникова Л.С., Максимович Н.Г., Деменев А.Д. Исследование гидрогеологических условий угольных месторождений на постэксплуатационном этапе с использованием гидродинамического моделирования (на примере Кизеловского угольного бассейна, Западный Урал, Россия) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 3-1. – С. 475–487. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-475-487.
13. Beven K. Deep study, hydrological processes and the uniqueness of the place // Hydrological Processes. – 2020. – Vol. 34. Issue 16. – pp. 3608–3613. DOI: 10.1002/presumably13805.
14. Borsch S., Simonov Yu., Khristoforov A., Semenova N., Koliy V., Ryseva E., Glozhintsev V., Deryugina V. Forecasting the flow of Russian rivers by hydrographic extrapolation // Hydrology. – 2022. – Vol. 9. DOI: 10.3390/hydrology9010001.
15. Chen F., Mao D. The mutual influence of mining and fault activation // Coal Mining Technology. – 2012. – No. 1. – pp. 15–21.
16. Dong S., Xu B., Yin S., Han Y., Zhang X., Dai Z. Use and protection of water resources in the coal mining area in northern China // Nature. Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. Art. No. 1214. DOI: 10.1038/s41598-018-38148-4.

17. Ji Changsheng. On the development of open-pit coal mining systems in China // *Journal of Mining and Safety Engineering*. – 2008. – No. 3. – pp. 297–300.
18. Kul Si-ming, Li Chun-yi. The effect of a weak plane on surface movement and intermittent deformation // *Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*. – 2009. – No. 2. – pp. 1–4.
19. Ni X., Wang Y., Jie M. The influence of stresses in various tectonic positions on the morphology of the fracture internode // *Journal of the Chinese Coal Society*. – 2008. – No. 5. – pp. 505–508.

References

1. Dolgikh V.P. Assessment of the applicability of machine learning models for forecasting the hydroecological state of small rivers. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 3. pp. 148–161. DOI: 10.46698/VNC.2025.82.17.001. (In Russ.)
2. Dolzhikov P.N., Leonov A.A., Pronskaya N.V. Factors of activation of deformations of the rock mass of closed mines. *News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2024. No. 1. pp. 493–502. (In Russ.)
3. Zakrutkin V.E., Reshetnyak V.N., Gibkov E.V., Sklyarenko G.Yu. Authigenic Iron Minerals in River Sediments of the Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 102–118. DOI: 10.46698/VNC.2023.95.74.008. (In Russ.)
4. Zubova L.G., Zubov A.R. Hydroecological Problems of Donbas: textbook. Lugansk. V. Dal National University. 2008. 100 p. (In Russ.)
5. Kandaurov V.V. Spatial and dynamic characteristics of the network of coal mining and dumping complexes near the village. Bugayevka, Perevalsky district, Luhansk People's Republic. *Bulletin of Taras Shevchenko Luhansk National University. Series 5. Geography. Economy. Tourism*. 2019. No. 1(25). pp. 4–8. (In Russ.)
6. Mokhov A.V. Hydraulic aspects of the hydrosphere regime in the fields of coal mines (on the example of Eastern Donbass). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2023. Vol. 13. No. 3. pp. 191–199. DOI: 10.46698/VNC.2023.93.35.015. (In Russ.)
7. Mokhov A.V. Hydrodynamic evolution of the void space of carbon coal mines under the influence of flooding. *Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012. Vol. 8. No. 3. pp. 42–49. (In Russ.)
8. Mokhov A.V. Underground water as indication of geomechanical processes. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2014. No. 3. pp. 274–282. (In Russ.)
9. Pavlov V.I., Kusayko N.P., Sergeychuk O.V. Climatic Features of the Formation of the Flow of Small Rivers in the LPR. *Ecological Bulletin of Donbas*. 2022. No. 4. pp. 31–40. (In Russ.)
10. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A. Hydrogeological research in mining at the post-operational stage. *Geoecology, Engineering Geology, Hydrogeology, and Geocryology*. 2018. No. 4. pp. 25–39. DOI: 10.1134/S0869780318040105. (In Russ.)
11. Rybnikov P.A., Rybnikova L.S. Fluid flow modeling to determine water balance in catchments during coal mine closure. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2025. No. 1-1. pp. 193–207. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_11_0_19_3. (In Russ.)
12. Rybnikov P.A., Rybnikova L.S., Maksimovich N.G., Demenev A.D. Hydrogeology of the Kizel coal basin (Western Urals, Russia) in post-mining stage: the main problems and ways of their solution. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2020. No. 3-1. pp. 475–487. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-475-487. (In Russ.)
13. Beven K. Deep study, hydrological processes and the uniqueness of the place. *Hydrological Processes*. 2020. Vol. 34. Issue 16. pp. 3608–3613. DOI: 10.1002/presumably13805.
14. Borsch S., Simonov Yu., Khristoforov A., Semenova N., Koliy V., Ryseva E., Glozhintsev V., Deryugina V. Forecasting the flow of Russian rivers by hydrographic extrapolation. *Hydrology*. 2022. Vol. 9. DOI: 10.3390/hydrology9010001.
15. Chen F., Mao D. The mutual influence of mining and fault activation. *Coal Mining Technology*. 2012. No. 1. pp. 15–21.

16. Dong S., Xu B., Yin S., Han Y., Zhang X., Dai Z. Use and protection of water resources in the coal mining area in northern China. *Nature. Scientific Reports*. 2019. Vol. 99. Art. No. 1214. DOI: 10.1038/s41598-018-38148-4.

17. Ji Changsheng. On the development of open-pit coal mining systems in China. *Journal of Mining and Safety Engineering*. 2008. No. 3. pp. 297–300.

18. Kul Si-ming, Li Chun-yi. The effect of a weak plane on surface movement and intermittent deformation. *Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition)*. 2009. No. 2. pp. 1–4.

19. Ni X., Wang Y., Jie M. The influence of stresses in various tectonic positions on the morphology of the fracture internode. *Journal of the Chinese Coal Society*. 2008. No. 5. pp. 505–508.