

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
Кафедра гидрогеологии, инженерной
и экологической геологии
Научно-исследовательский институт геологии ВГУ
ООО «Акма-Универсал»



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалы
Общероссийской научно-практической конференции
(г. Воронеж, 06-07 февраля 2026г.)

УДК 550.8

ББК 26.3

Г46

Актуальные проблемы прикладных геологических исследований: материалы Общероссийской научно-практической конференции (г. Воронеж, 06-07 февраля 2026г.) / - Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2026. - 116 с. ISBN 978-5-4446-1903-2. Текст: непосредственный

В сборнике материалов Общероссийской научно-практической конференции, опубликованы доклады, посвященные различным аспектам актуальных проблем прикладных геологических исследований на территории России.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области гидрогеологии, инженерной геологии, экологической геологии, инженерных изысканий в строительстве, для студентов и аспирантов профильных вузов.

УДК 550.8

ББК 26,3

© Воронежский государственный университет, 2026

©Кафедра гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, 2026

© Научно-исследовательский институт геологии ВГУ, 2026

© Акма-Универсал, 2026

© Оформление.

Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2026

ISBN 978-5-4446-1903-2

СОДЕРЖАНИЕ

Зинюков Ю. М. Гидрогеохимические типы подземных вод и их трансформация в результате многолетней техногенной нагрузки при эксплуатации предприятия пищевой промышленности (Новохоперский район, Воронежская область)	5
Янников А. М., Корепанов А. Ю. Особенности изменения криогидрогеологических условий в интервале второго яруса криолитозоны в пределах участков закачки.....	12
Корабельников Н. А., Мацкевич И. А. Об изменениях климатических характеристик на территории воронежской области по данным наблюдений за период с 1960-х гг. по настоящее время.....	15
Мусин Р. Х. Геохимия и условия формирования состава подземных вод уржумского комплекса в Предволжском регионе Республики Татарстан	24
Королёв А. Э., Маннапова Л. М. Инженерно-геологические свойства делювиальных суглинков погребенных палеооврагов Приволжской возвышенности на территории Татарстана	32
Кульнев В. В., Кизеев А. Н. Эколого-геологический анализ состояния Хибинского рудного района	36
Трубицын Д. С., Устименко Ю. А. Результаты гелиометрических исследований в подземных водах на территории Воронежской области	40
Мокроусова В. О., Корабельников Н. А. Влияние метеорологических факторов на содержание водорода в почвенном воздухе	45
Дешевых Г. Ю., Устименко Ю. А. Анализ изменения климатических условий в юго-восточной части Воронежской области за последние 30 лет (на примере территории листа М-37-ХVII (Павловск))	53
Каратеев И. А. Особенности геологических, структурно-тектонических и криогидрогеологических условий рудника «Маяк» Талнахского рудного узла	58
Усманов Р. М., Латыпов А. И., Королев Э. А., Мустафина А. И. Особенности формирования физико-химических свойств бентонитовых глин Бикляновского месторождения	64
Гараева А. Н., Орлова Н. А., Сисикенова Д. Д. Влияние природных и антропогенных факторов на разрушение объектов культурного наследия в центральной части города Казани.....	67
Мансурова Р. Р., Ильяш В. В. Природные и техногенные	

факторы формирования растительного покрова геосистем нижнего течения р. Тойда.....	73
Симонов И. М., Корабельников Н. А. Анализ связи гранулометрического состава и удельного сопротивления грунта под конусом зонда при статическом зондировании для песков аллювиального генезиса на территории Воронежской области.....	79
Трофимова А. С., Латыпов А. И. Методы сбора и консолидации данных для ML и BIGDATA-анализа в инженерной геологии	83
Дешевых Н. А., Корабельников Н. А. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в чернозёмах Воронежской области	86
Краснов Е. Д., Королёв Э. А. Особенности физико- механических свойств элювиальных грунтов на территории Советского района г. Казань	93
Мингазова А. М., Ибрагимов Р. Л. Оценка ресурсного потенциала пресных подземных вод Азнакаевского района Республики Татарстан.....	95
Закусилова М.П., Косинова И.И. Влияние атмосферных осадков на качество поверхностных вод Воронежского водохранилища	100
Плешков Р. С., Зинюков Ю. М. Гидрогеологическое обоснование возможности подземной отработки рудной жилы (Камчатский край)	103
Лужаков Н. В., Зинюков Ю. М. Гидрогеохимическая характеристика неоген-четвертичного водоносного комплекса на территории Бобровского района Воронежской области	107

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НОВОХОПЕРСКИЙ РАЙОН, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Исследуемая территория расположена в Новохоперском районе Воронежской области и приурочена к левобережью р.Савала в районе расположения сел Красное и Некрылово. Объектом исследования является предприятие пищевой промышленности, основной продукцией – этиловый спирт (рис.1). Ключевым объектом инфраструктуры являются поля фильтрации предприятия, расположенные на левом берегу р. Савала, в пределах первой и второй надпойменных террас, в 1,6 км южнее площадки предприятия. Расстояние от реки в юго-восточном направлении – 1,5 км (в направлении с. Красное).

В геологическом строении участка принимают участие следующие отложения [1].

Современные отложения (IV)

1. Почвенно-растительный слой ($e_p IV$). Мощность слоя – 1 м.

Верхнечетвертичные отложения (aIII)

2. Суглинки темно-желтые пластичные, в нижнем интервале слоя – опесчаненные. Мощность – 5,5 м.

3. Пески мелкозернистые глинистые, с прослоями глин. Мощность – 5,5 м.

4. Пески серые разномзернистые. Мощность – 3,0 м.

5. Глина пластичная, с переслаиванием песков. Мощность – 5,0 м.

Неогеновые отложения (N)

6. Глина серовато-синяя, тугопластичная. Мощность – 3,0 м.

7. Пески разномзернистые, с переслаиванием глин. Мощность – 5 м.

8. Пески светло-серые крупнозернистые, в нижней части гравелистые. Мощность – более 4 м.

Гидрогеологические условия

Подземные воды исследуемого участка приурочены к двум водоносным горизонтам [2]: залегающему первым от поверхности – верхнечетвертичному водоносному горизонту и залегающему непосредственно под ним – неогеновому верхнеплиоценовому водоносному горизонту.

Водоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (aIII) приурочен к отложениям первой и второй надпойменных террас р. Савала. Литологический состав отложений представлен песками от тонко- до мелкозернистых или разнотернистых с прослоями и линзами глинистых отложений. Мощность водоносного горизонта изменяется в пределах 15-25 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод 5,5-14,5 м. Питание горизонта осуществляется, преимущественно, за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации из смежных и нижележащих водоносных горизонтов. В пределах контура расположения карт полей фильтрации предприятия естественное питание существенно дополняется техногенным питанием за счет инфильтрации сточных вод.

Водоносный верхнеплиоценовый терригенный горизонт (N_2^3) приурочен к отложениям неогена. Водовмещающими отложениями являются пески от мелко- до крупнозернистых и гравелистых в нижнем интервале слоя. Пески переслаиваются маломощными прослоями глин. Воды горизонта напорно-безнапорные. Наличие небольшого напора связывается с наличием в кровле горизонта прослоев глин. Глубина залегания кровли горизонта 18-22 м. Глубина УПВ – 5,5-14,5 м. Нижним водоупором являются глины семилукского возраста. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации из верхнечетвертичного водоносного горизонта и за счет притока из смежных горизонтов.

Движение потока подземных вод в пределах исследуемого участка имеет северо-западное, западное и юго-западное направление и предопределяется дренирующим влиянием р. Савала. На территории площадки полей фильтрации, вероятно, имеет место радиальное растекание за счет подъема уровней грунтовых вод (при инфильтрации сточных вод за многолетний период эксплуатации очистных сооружений) и формирования техногенного куполовидного поднятия зеркала в водоносном горизонте.

Мониторинг подземных вод

Подземные воды территории, примыкающей к полям фильтрации в настоящий момент времени контролируются 9-ю наблюдательными скважинами (рис.1). Скважины устроены кустовым образом. В кусте – две скважины: одна оборудована на четвертичный горизонт, другая – на неогеновый горизонт. Скважины были оборудованы в период 2005-2008 гг.: скважины 1.1 и 1.2 (2005 г.), скважины 2.3 и 2.4 (2008 г.), скважины 3.5 и 3.6 (2007 г.), скважины 4.7 и 4.8 (2006 г.), скважина №9 (2014 г.).

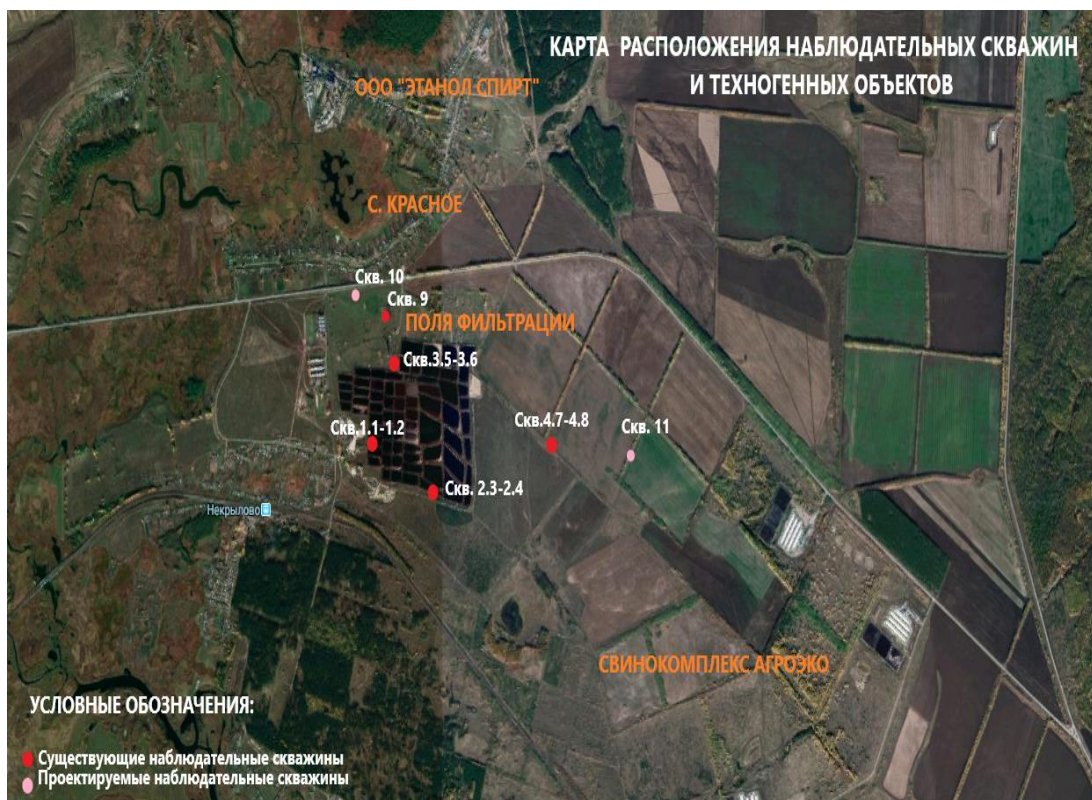


Рис.1. Схема расположения наблюдательных скважин

Результаты мониторинга уровенного режима [4,5] свидетельствуют о том, что глубина залегания подземных вод в пределах исследуемой территории изменяется от 5,36 м – весна, 5,62 м – лето, 5,84 м – осень (скв.1.1) до 14,25 м – весна, 14,27 м – лето, 14,32 м – осень (скв.4.7). Наибольшая глубина залегания УПВ характерна для скважин 4.7 и 4.8 и связывается с высоким геоморфологическим положением данного участка (а.о.~100,0 м). Схожесть глубин залегания подземных вод разных водоносных горизонтов (верхнечетвертичного и неогенового) выдерживается в пределах всех кустов наблюдательных скважин и свидетельствует о тесной гидравлической связи данных горизонтов. Наиболее близко подземные воды залегают на участке западной части полей фильтрации, что связано как с более низким естественным геоморфологическим положением земной поверхности, так и с искусственным подъемом уровня грунтовых вод за счет многолетней инфильтрации сточных вод из карт полей фильтрации.

Абсолютные отметки уровенной поверхности подземных вод изменяются от 83,45-83,95 м (скв.1.1) до 86,20-86,35 м (скв.4.7). В северной части полей фильтрации абсолютные отметки положения уровня – 84,2-84,5 м (скв.3.5).

Абсолютные отметки уровня в р. Савала составляют – 82,5-83,0 м.

Анализируя гидрогеохимическую ситуацию на участке расположения полей фильтрации предприятия, следует отметить, что в

подземных водах исследуемой территории как и на большинстве участков, подверженных многолетней техногенной нагрузке [3-5] отмечаются высокие значения сухого остатка – максимальные значения временами превышали 10 г/л. Высокие значения сухого остатка характерны для всего участка полей фильтрации.

При этом важно отметить, что величина сухого остатка формируется, главным образом, за счет величины концентрации гидрокарбонатов, которые не нормируются санитарно-гигиеническими нормативами и, в связи с этим, не относятся к компонентам-загрязнителям [2].

Так, например, максимальное содержание гидрокарбонатов в скважинах составляли 10858 мг/л (скв.1.1). Максимальные концентрации аммония временами превышали 1 г/л. Концентрация суммы натрия и калия – достигали 1200-1400 мг/л.

Концентрации нитритов и нитратов в норме. Низкое содержание данных форм азотных соединений связывается с тем, что на исследуемом участке сформировалась гидрогеохимическая обстановка восстановительной направленности, способствующая накоплению и миграции восстановленной формы азота - иона аммония, нежели его окисленных форм. Высокие значения органического вещества также свидетельствуют о восстановительном характере условий накопления и миграции как самого органического вещества, так и соединений азота.

Что касается условий формирования минерализации (сухого остатка) техногенно-измененных вод, то следует подчеркнуть, что минерализация формируется преимущественно за счет гидрокарбонатов, натрия, аммония, и высоких значений органических показателей, иногда за счет хлоридов.

Анализируя гидрогеохимические типы подземных вод исследуемой территории, можно отметить, что на настоящий момент времени на участке расположения полей фильтрации доминирует **гидрокарбонатный аммонийно-натриевый и хлоридно-гидрокарбонатный аммонийно-натриевый** тип (таблица 1). Формирование вод данного типа в части типобразующих катионов свидетельствует о полной техногенной метаморфизации химического состава подземных вод обоих водоносных горизонтов: аллювиального четвертичного и нижележащего неогенового горизонта.

Основной типобразующий анион – гидрокарбонат-ион, по своему происхождению в пределах данного участка также является техногенным (следствие технологического процесса).

На участках расположения фоновых скважин 4.7 и 4.8 подземные воды характеризуются **гидрокарбонатным магниево-кальциевым и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридным кальциево-магниевым** типами. При этом данный участок на настоящий момент времени следует именовать «фоновым» с определенной долей условности из-за повышенных концентраций железа и аммония. Тем не менее,

гидрогеохимические типы на данном участке свидетельствуют о природных условиях формирования химического состава подземных вод. Техногенное воздействие не оказало влияние на трансформацию химических типов.

Таблица 1.

Таблица гидрогеохимических типов подземных вод

Номер скважины	Гидрогеохимический тип
Скв.1.1.	Гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.1.2.	Хлоридно-гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.2.3.	Хлоридно-гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.2.4.	Гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.3.5.	Гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.3.6.	Гидрокарбонатный аммонийно-натриевый
Скв.4.7.	Гидрокарбонатный магниевый-кальциевый
Скв.4.8.	Гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный кальциевый-магниевый
Скв.9.	Хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-кальциевый

Участок подземных вод, контролируемых скважиной №9, расположенной в 320 м севернее полей фильтрации, характеризуется **хлоридно-гидрокарбонатным магниевый-кальциевым** химическим типом. Таким образом, при высоких концентрациях в данной скважине железа, аммония, а также высоких показателях окисляемости и повышенной минерализации, свидетельствующих о подверженности подземных вод верхней части неогенового горизонта (на данном участке) техногенному влиянию, в целом воды не подверглись техногенной метаморфизации состава. Для неогенового водоносного горизонта одним из основных типобразующих анионов является хлор-ион, имеющий как природный, так и техногенный генезис.

Анионный и катионный состав наглядно показан на рис. 2,3.

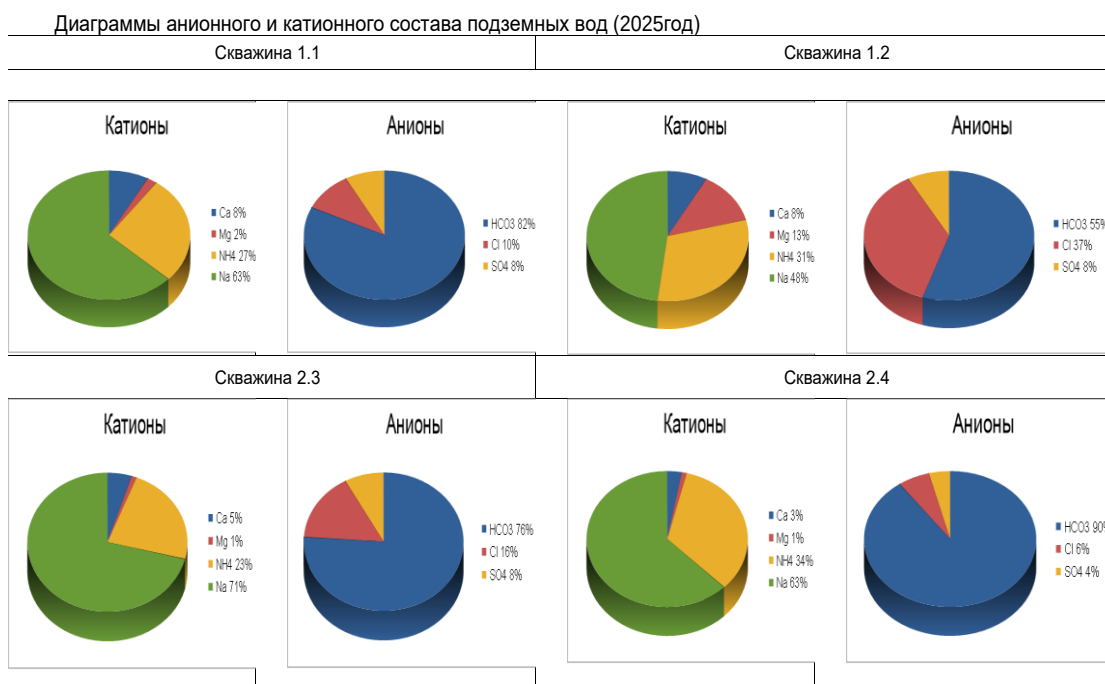


Рис.2 Диаграмма химического состава подземных вод (скв.1.1-2.4)

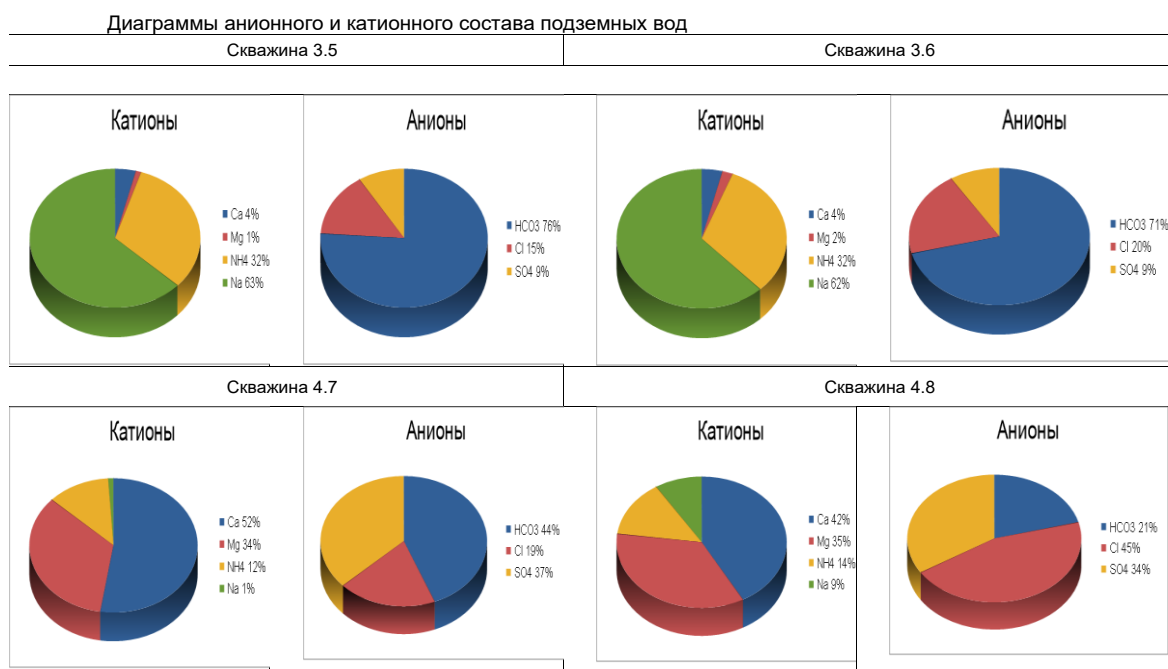


Рис.3 Диаграмма химического состава подземных вод (скв.3.5-4.8)

Анализируя катионный и анионный состав подземных вод за период наблюдений (в их процентном соотношении (%-эквивалент)), можно констатировать: подземные воды участка расположения полей фильтрации (скважины 1.1,1.2,2.3,2.4,3.5,3.6) претерпели значительную метаморфизацию химического состава. В части катионного состава отмечается полное вытеснение кальция и особенно магния ионами натрия

и аммония техногенного генезиса. В части анионного состава фиксируется вытеснение хлоридов и особенно сульфатов гидрокарбонат-ионом, что связывается с активным поступлением гидрокарбонатов техногенного происхождения. Что касается подземных вод так называемого фоновой участка, следует отметить сохранение природных соотношений основных типобразующих анионов и катионов, и их доминирование над техногенными формами (кальций и магний существенно доминируют над натрием и аммонием).

Резюмируя сказанное, считаем необходимым рекомендовать: при ведении мониторинга подземных вод на территориях подверженных активному техногенному влиянию акцентировать внимание не только на концентрациях химических компонентов, на их массовых, весовых значениях (как это обычно происходит, особенно со стороны органов Госэпиднадзора), но также и на их молярных, эквивалентных количествах (представленных в процент-эквивалентной форме) для понимания долевого участия компонентов и их роли в химическом балансе катионного и анионного состава подземных вод, для оценки направленности трансформаций химического состава и прогноза дальнейших гидрогеохимических тенденций. Также рекомендуется при составлении гидрогеохимических карт отражать доленое распределение основных компонентов.

Литература

1. Зинюков Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-техногенной системы "поля фильтрации "Этанол-Спирт" - геологическая среда" как основа оптимизации ее мониторинга / Ю.М. Зинюков, А.В. Золотарев // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 2012. – № 1. – С. 200–208.

2. Зинюков Ю.М. Оптимизация мониторинга природно-техногенной системы "ООО "Этанол-Спирт" - природная среда" (Воронежская область) / Ю.М. Зинюков, А.В. Золотарев // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 2012. – № 2. – С. 209–217.

3. Зинюков Ю.М. Формирование химического состава подземных вод в условиях эксплуатации крупного предприятия химической промышленности (источники, факторы, процессы) / Ю.М. Зинюков // Интеграция экологической, хозяйственной и социальной политики: Материалы III межрегиональной научно-практической конференции. – Тамбов: Изд-во ТГУ, 1999. – С. 76–79.

4. Зинюков Ю.М. Экологическая оценка состояния грунтовых вод на территории междуречья рек Савала и Елань / Ю.М. Зинюков, О.И. Халина // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы

Международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 12 ноября 2015 г.). – Воронеж, 2016. – Ч. 7. – С. 157–165.

5. Зинюков Ю.М. Мониторинг подземных вод на территории полей фильтрации предприятия пищевой промышленности (Воронежская область) / Ю. М. Зинюков // Актуальные вопросы геологии: материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2019. – С. 269–272.

**Янников А. М.
Корепанов А.Ю.**

*Институт «Якутнипроалмаз» АК АЛРОСА ПАО, г. Мирный, Россия
E-mail: yannikov90@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ИНТЕРВАЛЕ ВТОРОГО ЯРУСА КРИОЛИТОЗОНЫ В ПРЕДЕЛАХ УЧАСТКОВ ЗАКАЧКИ

«Левобережный» – это третий по счёту и самый большой по площади участок закачки дренажных вод рудника «Удачный», использующий в качестве рассолопоглощающих структур коллекторы второго яруса криолитозоны. Участок расположен на левом берегу реки Далдын в пределах левобережных притоков последнего от ручьев Улахан-Бысыттах и Орто-Бысыттах, являясь практическим продолжением природной аномалии магматической Сытыканской области, обусловленной наличием проявлений траппового и кимберлитового магматизма [1-4].

В настоящее время на участке «Левобережный» наблюдательная сеть состоит из 48 скважин, в том числе: – 18 закачных скважин; – 28 наблюдательных скважин; – 2 скважины ликвидированы [1-4].

Поглощающие интервалы представлены трещиноватыми и кавернозно-трещиноватыми карбонатными породами моркокинской ($\text{Є}_3 \text{mrk}$) и мархинской ($\text{Є}_3 \text{mr}$) свит. Наиболее проницаемые пласты-коллекторы, по результатам расходометрии, отмечены в интервалах глубин 150,0–295,0 м.

В настоящее время участок обратной закачки «Левобережный» эксплуатируется в опытно-промышленном режиме с суммарной производительностью закачки до 350 м³/час в режиме свободного налива на базе 6 поглощающих скважин и 12 резервных.

Основные характеристические гидродинамические коэффициенты: к началу промышленной эксплуатации основными исходными данными по узлу закачки «Левобережный» являются: – средняя отметка уровня закачиваемых вод в таликовой зоне реки Далдын при закачке шахтных и дренажных вод не должна превышать +280 абс. м; – интервалы поглощения воды – от +280,6 до +124,8 абс. м; – подошва основного

коллектора залегает на отметках от +172,5 до +209,1 абс. м (средняя около +190 абс. м); – коэффициент приемистости скважин - от 18,19 до 78,6 м³/час×МПа; - км до 160,0 м²/сут [4].

Формируемый техногенный водоносный горизонт на участке «Левобережный» за время эксплуатации претерпел значительные изменения. Закачка 22,99 млн м³ дренажных рассолов рудника трубки Удачная привела к изменению фильтрационных параметров массива вмещающих пород. Распределение объёма закачиваемых дренажных вод по годам приведено в таблице 1.

Таблица 1

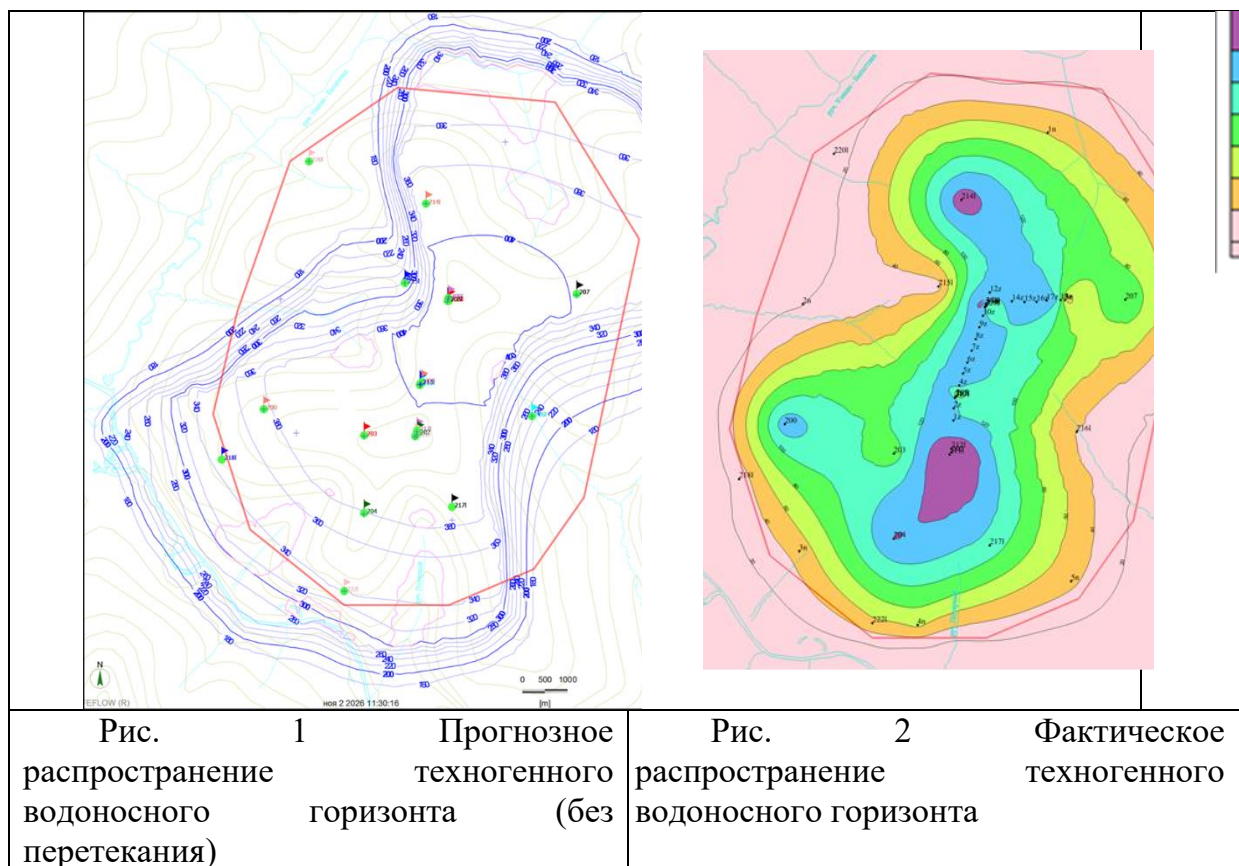
Объём закачиваемых вод на участке «Левобережный»

№ п/п	Год	Объём закачанных дренажных вод, м ³
1	2013	1 042 300
2	2014	2 620 700
3	2015	3 317 700
4	2016	2 743 500
5	2017	2 794 600
6	2018	2 774 000
7	2019	2 934 800
8	2020	1 787 700
9	2021	1 243 300
10	2022	744 100
11	2023	158 200
12	2024	88 800
13	2025	736 700
ИТОГО		22 986 400

Уровенный режим техногенного водоносного горизонта в толще ММП характеризуется закономерным развитием репрессивного купола в центральной части и увеличением площади распространения закачиваемых рассолов на периферии. Динамика уровней подземных вод в центральной части напрямую зависит от режима закачки дренажных рассолов. В случае развития изолированного техногенного водоносного горизонта во втором ярусе криолитозоны его площадь распространения была бы больше существующего горного отвода (рис. 1), однако фактическое распространение техногенного водоносного горизонта соответствует площади горного отвода (рис. 2).

Существенное отличие фактически занимаемой площади и прогнозного распространения связано с формированием зон вертикального перетока между верхнекембрийским водоносным комплексом и сформированным техногенным водоносным горизонтом. Емкостные параметры участка можно отследить по динамике уровня режима, описывающего распространение воды в ММП в плане и разрезе. Максимальное повышение уровня на участке «Левобережный»

прогнозируемо наблюдалось в центре закачки, в южном и юго-западном, северном направлениях. Необходимо отметить, что после уменьшения интенсивности закачки в 2022-2025 гг. в центральной части участка произошло изменение (понижение) уровня вод в техногенном водоносном горизонте, составляющее до 80 м.



Анализ изменения уровня режима в техногенном водоносном горизонте и верхнекембрийском водоносном комплексе (рис. 3) позволил выявить факт перетекания и формирования прямых гидравлических связей. В процессе моделирования гидрогеологических условий участка данный факт был также подтверждён. Рассчитанный по результатам моделирования переток из техногенного водоносного горизонта в верхнекембрийский водоносный комплекс составил 4570 м³/сут.

В результате проведенных исследований было установлена, что сформированная в пределах участка «Левобережный» природно-техногенная система «техногенный водоносный горизонт+верхнекембрийский водоносный комплекс» обладает остаточной «свободной» емкостью 8,7 млн. м³. Данный факт позволяет рассматривать возможность использования данного участка закачки как минимум до 2033 года.

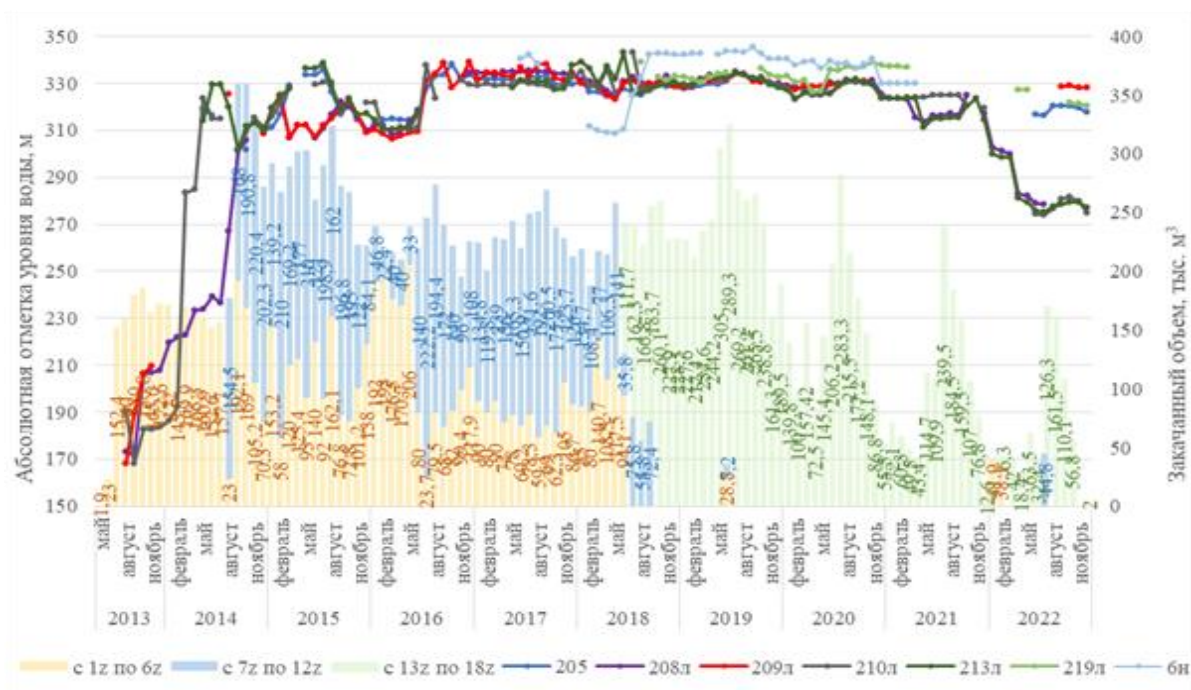


Рис. 3 Динамика изменение уровня режима

Литература

1. Гидрогеология СССР. Том XX. Якутская АССР. М.: Недра, 1970. 384 с.
2. Колганов В. Ф., Акишев А. Н., Дроздов А. В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. Мирный, Мирнинская типография, 2013. 568 с.
3. Дроздов А. В., Иост Н. А., Лобанов В В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.
4. Янников А.М. Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля. Мирный: Изд-во ЗЯНЦ/ЯНА, 2023. 305 с

Корабельников Н. А.^{1,2}

Мацкевич И. А.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет", E-mail: korabel_na@mail.ru

²ООО «Акма-Универсал», г. Воронеж, Россия, E-mail: i_savina@mail.ru

**ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ
НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПЕРИОД С 1960-Х ГГ. ПО НАСТОЯЩЕЕ
ВРЕМЯ**

В последние годы происходят заметные изменения климата, поэтому правительством РФ разработан национальный план мероприятий адаптации к изменениям климата [1]. В рамках этого плана разработан типовой паспорт климатической безопасности. В 2025 году такой паспорт составлен для территории Воронежской области. В данной статье кратко изложены материалы по изменению основных климатических характеристик на территории области, отраженных в паспорте.

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО, 2020) современная средняя глобальная температура приземного воздуха составила примерно $14,9^{\circ}\text{C}$, что на $1,2^{\circ}\text{C}$ выше, чем в доиндустриальную эпоху. Средние темпы потепления приземного воздуха в течение 1976-2020 гг. составили $0,18^{\circ}\text{C}/10$ лет в глобальном масштабе, и только за этот период глобальная температура выросла на $0,8^{\circ}\text{C}$ [2].

Территория России теплеет еще почти вдвое быстрее, чем суша в целом - $0,51^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981-1990 гг. теплее предыдущего [2]. Подобные изменения затронули и Воронежскую область.

В соответствии с требованиями по составлению типового паспорта для оценки наблюдаемых изменений климатических параметров были использованы средние значения по сети метеостанций области с 1960 по 2024 гг. [3].

На графике изменения среднегодовых температур воздуха (рис. 1) явно видно, что ряд наблюдений разделяется на два периода. Первый период 1960 – 1989 гг., второй 1990 – 2024 гг.

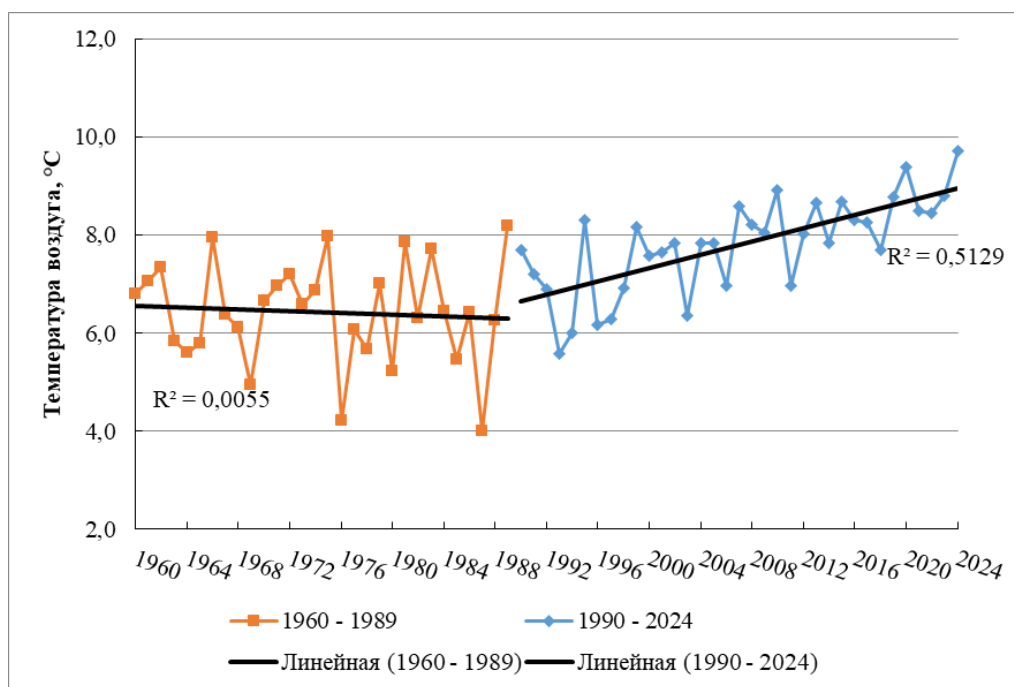


Рис. 1 Временной ряд изменений среднегодовой температуры воздуха, осредненной по территории Воронежской области, за период с 1960 по 2024 годы

Период с 1960 по 1989 гг. характеризуется среднегодовой температурой $+6,4^{\circ}\text{C}$, минимальное значение за период $+4,0^{\circ}\text{C}$, максимальное $+8,2^{\circ}\text{C}$, интервал (разница между максимальным и минимальным значением) $4,1^{\circ}\text{C}$, стандартное отклонение (S) составляет $1,05^{\circ}\text{C}$.

Период с 1990 по 2024 гг. характеризуется среднегодовой температурой $+7,8^{\circ}\text{C}$, минимум $+5,6^{\circ}\text{C}$, максимум $+9,7^{\circ}\text{C}$, интервал $5,7^{\circ}\text{C}$, стандартное отклонение (S) – $0,97^{\circ}\text{C}$. По сравнению с предыдущим периодом данный отрезок времени характеризуется устойчивым ростом среднегодовых температур (рис. 1) и немного меньшей дисперсией годовых значений.

На графике средних за 10-летний период среднегодовых температур (Рис. 2) с 1990 года по настоящее время отмечается устойчивый рост среднегодовых температур, с $6,9^{\circ}\text{C}$ до $9,0^{\circ}\text{C}$. Тренд роста осредненных за десятилетие температур характеризуется коэффициентом детерминации (R^2)¹ – 0,98.

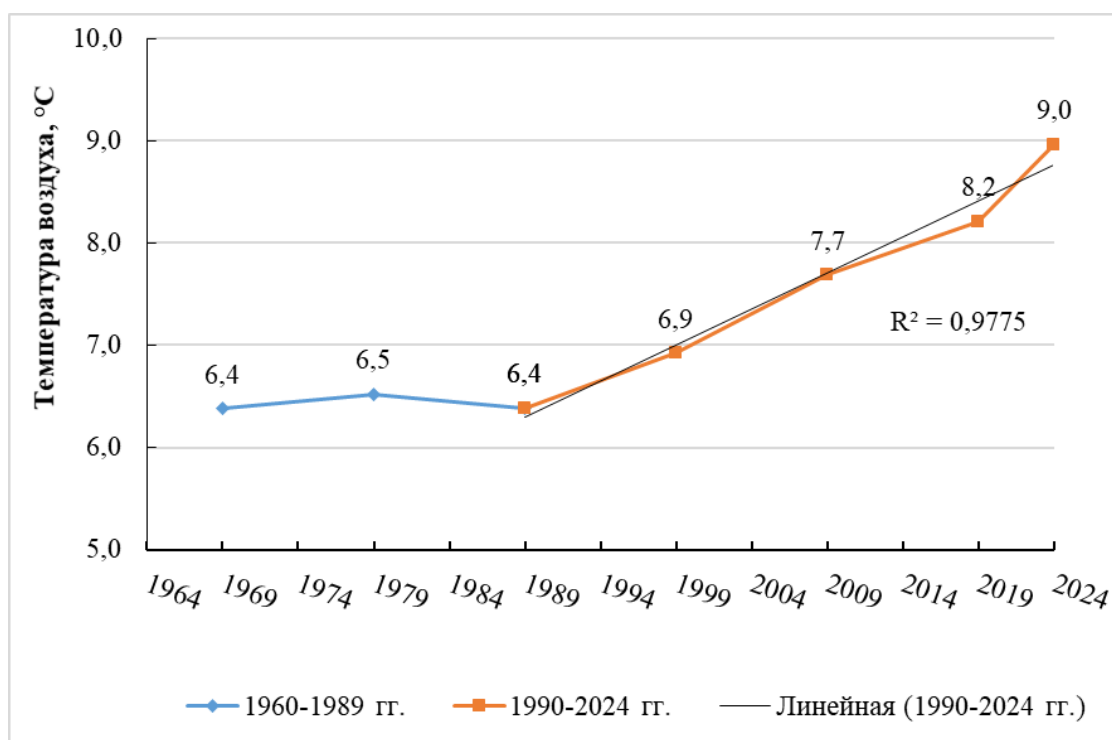


Рис. 2 Средние за 10-летние периоды среднегодовые температуры воздуха на территории Воронежской области

Средние за десять лет значения среднегодовой температуры воздуха за холодный период года также распадаются на два периода, которые характеризуются следующими значениями:

1960–1989 гг. – среднее минус $4,8^{\circ}\text{C}$, минимум минус $8,3^{\circ}\text{C}$, максимум

¹ Коэффициент детерминации для линейной зависимости – это коэффициент парной корреляции в квадрате

минус 1,3°C, интервал 7,1°C, стандартное отклонение (S) – 1,72°C;

1990–2024 гг. – среднее минус 3,0°C, минимум минус 6,2°C, максимум минус 0,2°C, интервал 6,0°C, стандартное отклонение (S) – 1,63°C.

Средние десятилетние температуры за холодный период года с 1990 года по настоящее время выросли с минус 3,9°C до минус 1,4°C, с линейной зависимостью - $R^2 = 0,89$.

Средние за десять лет значения среднегодовой температуры воздуха за теплый период года характеризуются следующими значениями:

1960–1989 гг. – среднее +14,5 °C минимум +12,1°C, максимум +17,0°C, интервал 4,8°C, стандартное отклонение (S) – 1,05 °C;

1990–2024 гг. – среднее +15,5°C, минимум +13,1°C, максимум +17,8°C, интервал 4,8°C, стандартное отклонение (S) – 1,05°C.

Средние за 10-летний период температуры теплого периода выросли с 1990 года по настоящее время с +14,7°C до +16,4°C, при линейном тренде с $R^2 = 0,94$.

Температурный режим воздуха непосредственно влияет на вегетационный период – продолжительность активного роста растений. Вегетационный период условно определяется временем между переходом среднесуточной температуры весной и осенью через +5°C. Датой весеннего перехода через отметку +5°C принималась дата, после которой не были зафиксированы среднесуточные минусовые температуры, то есть устанавливались устойчивые положительные температуры. За дату осеннего перехода температуры воздуха принималась даты с устойчивыми температурами ниже +5°C.

На графике осредненных за 10 лет дат начала вегетационного периода отмечается стабильное смещение этих дат к более ранним срокам (с коэффициентом детерминации $R^2=0,48$). Так с 1960 г. по 2024 г. средняя за десятилетие дата перехода к температурам воздуха более +5,0°C сместилась от 7-го апреля к 28-му марта - на 11 дней

По осредненным за 10 лет датам окончания вегетационного периода прослеживается явная тенденция (с коэффициентом детерминации $R^2=0,9$) к более поздним срокам окончания вегетационного периода. В 60-е годы средняя за 10 лет дата окончания вегетационного периода была – 15.10, в 2020-2024 гг. – 02.11, смещение составило 17 дней.

Средняя длительность вегетационного периода в северной части Воронежской области с конца 60-х годов прошлого века по 20-е годы XXI-го века увеличилась в среднем с 191 до 219 дней, то есть на 28 дней.

Среднегодовая температура поверхности почвы составляла: в период с 1966 по 1989 гг. +8,2°C, минимальное значение за период +5,2°C, максимальное +10,1°C, стандартное отклонение (S) - 1,35°C; в период с 1990 по 1924 гг. - +9,7°C, минимум +6,9°C, максимум +12,7°C, стандартное отклонение (S) – 1,27°C. По сравнению с предыдущим периодом второй отрезок времени также характеризуется устойчивым ростом

среднегодовым температурам поверхности почвы и уменьшением дисперсии.

Средние десятилетние среднегодовые температуры поверхности почвы с 1990 года по настоящее время имели устойчивый рост - с 8,5°C до 11,7°C с линейным трендом, который характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,94$.

На графике средних за 10-летний период среднегодового количества осадков (рис. 3) с 1966 г. по 2024 г. отмечается рост осадков с 504 мм до 556 мм. Тренд роста осредненных за десятилетие количества осадков характеризуется коэффициентом детерминации (R^2) – 0,68. Заметной тенденции к разделению на периоды не отмечается.

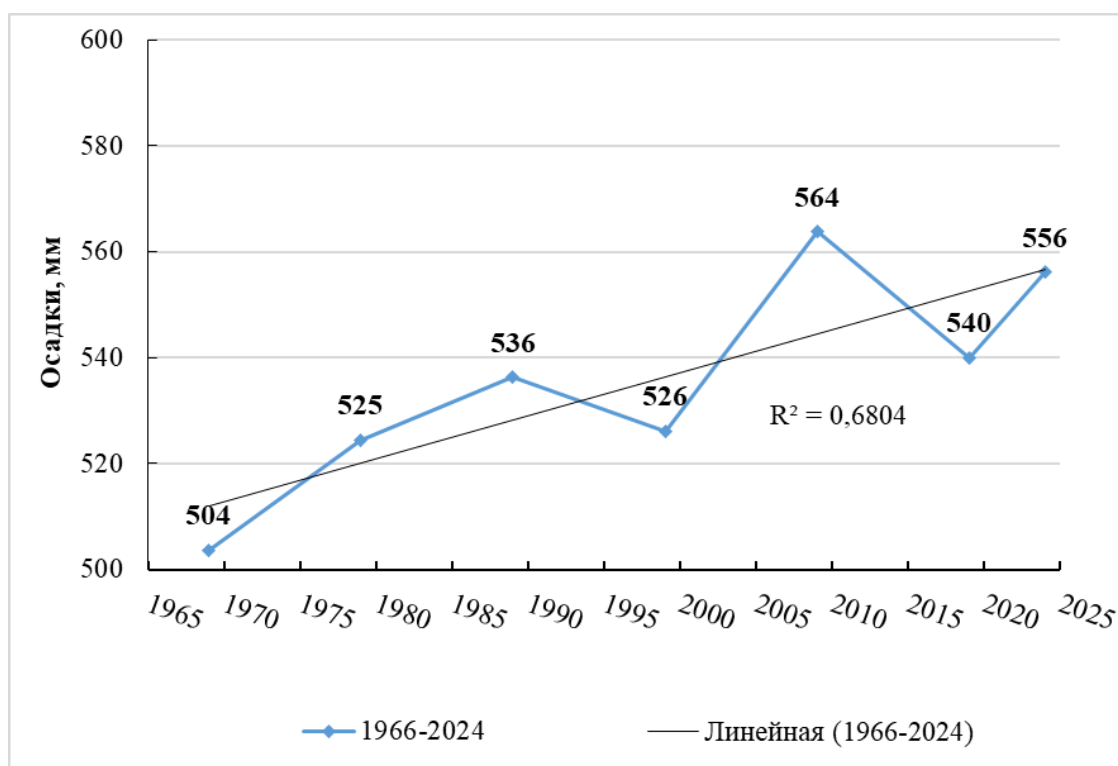


Рис. 3 Средние за 10-летние периоды годовые суммы количества осадков на территории Воронежской области

Анализ наблюдаемых значений средней и максимальной высоты снежного покрова явных тенденций к изменению не выявил. Средняя высота снежного покрова составила – 3,9 мм, отклонение от средних значений ($\pm 2S$) составляет $\pm 3,98$ мм.

Максимальная высота снежного покрова составила – 29 мм, отклонение от средних значений ($\pm 2S$) - ± 18 мм.

Период с 1980 по 2024 гг. характеризуется средним числом со снежным покровом – 100 дней, минимальное значение за период 83 дня, максимальное 114 дней, интервал (разница между максимальным и минимальным значением) 30 дней, стандартное отклонение (S) составляет 12 дней.

Для оценки наблюдаемых изменений скорости ветры были использованы средние годовые значения по сети метеостанций с 1966 по 2024 гг. [3]

На графике изменения среднегодовой скорости ветра (рис. 4) явно видно, что ряд наблюдений разделяется на три периода. Первый период 1966 – 1977 гг., второй 1978 – 1999 гг., третий 2000 – 2024 гг.

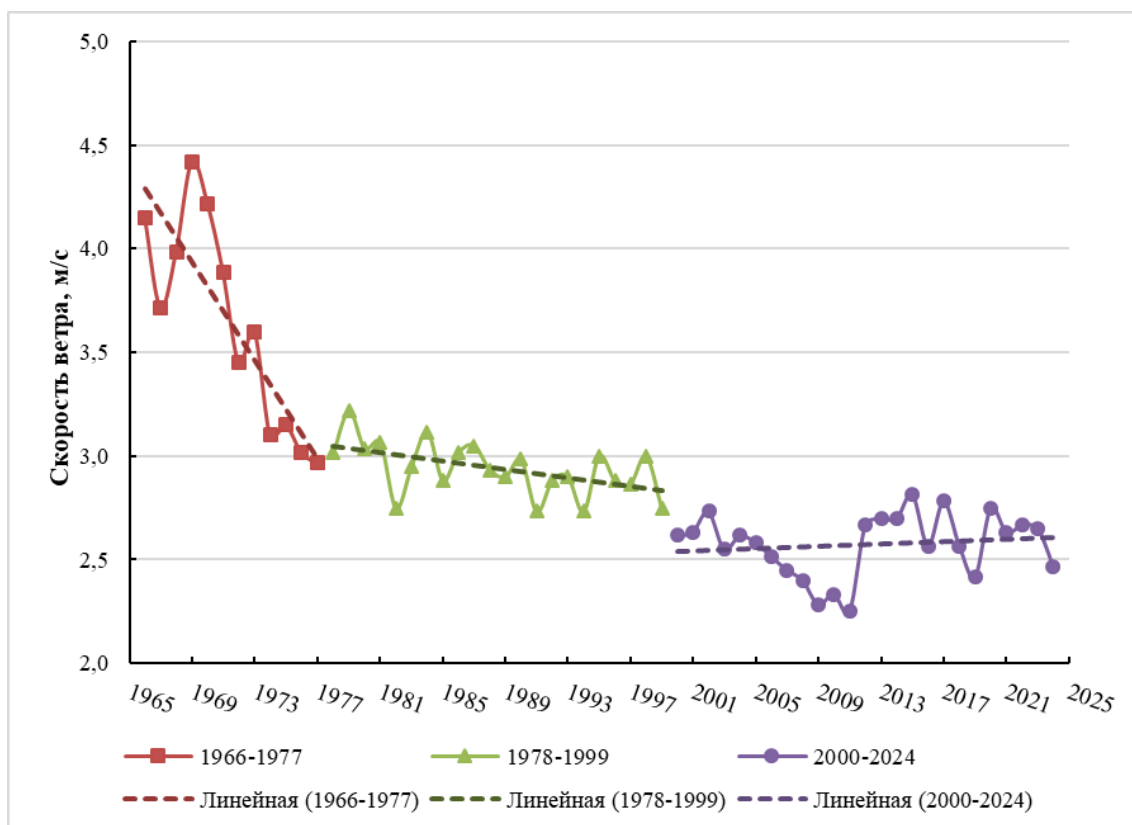


Рис. 4 Временной ряд изменений среднегодовой скорости ветра, осредненной по территории Воронежской области, за период с 1966 по 2024 годы

Период с 1966 по 1977 гг. характеризуется среднегодовой скоростью ветра 3,6 м/с, минимальное значение за период 3,0 м/с, максимальное 4,4 м/с, интервал (разница между максимальным и минимальным значением) 1,5 м/с, стандартное отклонение (S) составляет 0,5 м/с. С 1978 по 1999 гг. среднегодовая скорость ветра составила 2,9 м/с, стандартное отклонение (S) – 0,14 м/с. В отрезок с 2000 по 2024 гг. среднегодовая скоростью ветра - 2,6 м/с, со стандартным отклонением (S) – 0,15 м/с.

Значимых изменений в направлениях ветра за обозначенный период наблюдений не отмечается. В интервале времени 2006 – 2024 в зимний период отмечается некоторое увеличение повторяемости ветров ЮВ и СЗ румбов, 18 и 11 соответственно. Для сравнения, в 1966-1999 гг. ЮВ ветров было 12, СЗ – 7.

Климатическая система, как сложная нелинейная система, имеет ограниченную предсказуемость. На изменение климата оказывают влияние

не только естественные процессы, но и антропогенные факторы.

В данном паспорте принят сценарий, что тенденции изменения факторов, воздействующих на климат в последние годы, будут сохранены. Поэтому прогнозные оценки изменения климатических характеристик построены на основе корреляционно-регрессивного анализа данных наблюдений за период с 1960-х по 2024 г.

По некоторым климатическим характеристикам были выявлены значимые изменения за последние 30-40 лет. Для таких характеристик прогноз проводился на основе этого последнего периода наблюдений.

Для оценки значимости корреляционной связи использовался коэффициент детерминации (R^2) – квадрат множественного коэффициента корреляции, который для парной линейной регрессионной модели равен квадрату коэффициента корреляции (r^2).

За меру количественной оценки неопределенности прогнозов принято значение двух стандартных отклонений (S) по выборке. Согласно эмпирическому правилу математической статистики для нормального распределения в пределах двух стандартных отклонений от среднего находится 95,44 % выборки.

Прогноз изменений среднегодовых температур воздуха дан на основе ряда наблюдений за период 1990-2024 гг., так как на этом отрезке времени наметился тренд к росту температур и значительно, по сравнению с периодом 1960-1989 гг. стала меньше дисперсия среднегодовых значений (рис. 5).

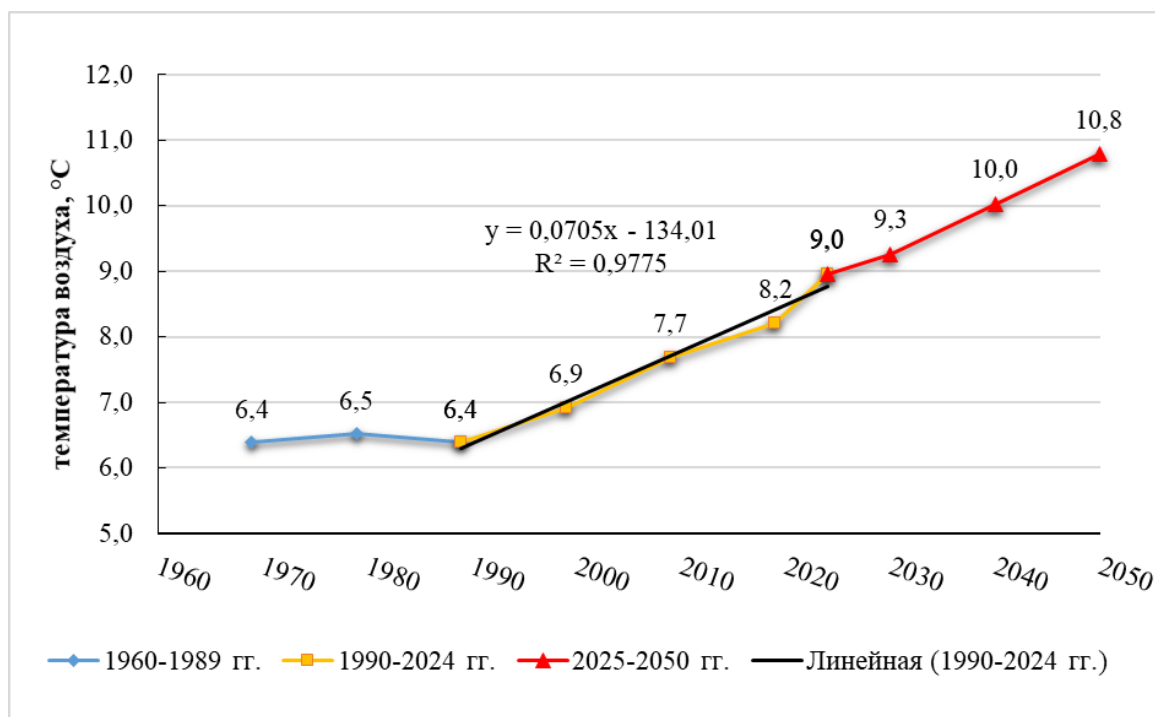


Рис. 5 График средних за 10 лет и прогнозных среднегодовых температур воздуха на территории Воронежской области, за период 1960-2050 гг.

Коэффициент детерминации тренда роста средних десятилетних температур за период 1990-2024 гг. составил 0,98. Прогнозное значение среднегодовой температуры на 2050 г. составит +10,8°C. Отклонение от средней температуры ($\pm 2S$) $\pm 1,94^\circ\text{C}$. По сравнению с базовым периодом 1961-1990 гг. повышение температуры воздуха составит 4,4°C,

Таковую же тенденцию изменений имеют среднегодовые температуры воздуха в холодный и теплый периоды. Прогнозное значение среднегодовой температуры за холодный период на 2050 г. составит +0,2°C. Отклонение от средней температуры ($\pm 2S$) - $\pm 3,26^\circ\text{C}$. По сравнению с периодом 1991-2020 гг. рост составит 3,4°C.

Прогнозное значение среднегодовой температуры за теплый период на 2050 г. составит +18,3°C. Отклонение от средней температуры ($\pm 2S$) - $\pm 2,1^\circ\text{C}$. По сравнению с базовым периодом 1991-2020 гг. рост на + 3,0°C.

Прогнозное значение среднегодовой температуры почвы на 2050 г. составит +15,1°C. Отклонение от средних значений ($\pm 2S$) составит $\pm 2,5^\circ\text{C}$.

Прогнозная длительность вегетационного периода для севера Воронежской области увеличится к 2050 г. по сравнению с 2024 г. на 8 дней и составит 227 дней.

За анализируемый период наблюдений отмечается тренд роста количества осадков за год с коэффициентом детерминации $R^2=0,68$. Прогнозное значение количества среднегодовых осадков на 2050 г. составит 580 мм (рис. 6). Отклонение от средних значений ($\pm 2S$) - 186 мм. По сравнению с базовым периодом 1966-1990 гг. рост количества среднегодовых осадков составит 58 мм.

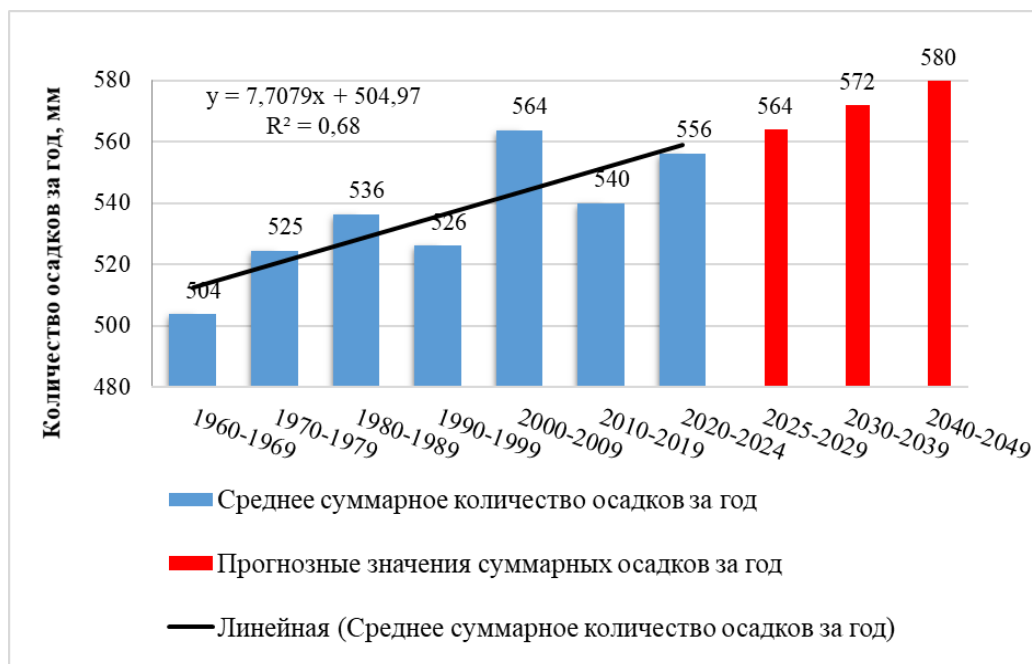


Рис. 6 Гистограмма средних за 10 лет и прогнозного количества годовых осадков на территории Воронежской области, за период 1960-2050 гг.

Прогнозное значение количества дней со снежным покровом на 2050 г. составит 68 дней. Отклонение от средних значений ($\pm 2S$) составит ± 24 дня. По сравнению с базовым периодом 1966-1990 гг. уменьшение числа дней со снежным покровом составит 37 дней.

Изменение температурного режима на территории Воронежской области выражается, прежде всего, в увеличении среднегодовых температур воздуха в среднем на $0,4^{\circ}\text{C}$ за каждое десятилетие. Начиная с 80-х гг. XX века среднегодовая температура воздуха выросла с $6,4^{\circ}\text{C}$ до $9,0^{\circ}\text{C}$ в 20-е годы XXI. Прирост составляет $\sim 40\%$ от начальных значений. Обозначенный рост температур согласуется с общемировой тенденцией – $+0,295^{\circ}\text{C}/10$ лет, и потеплением на территории России на $+0,51^{\circ}\text{C}/10$ лет [2].

Изменения в режимах основных климатических параметров приводят к изменению гидрологического режима рек – произошло снижение слоёв стока весеннего половодья и его максимальных расходов и увеличение стока зимней и летне-осенней межени и соответствующих минимальных 30-ти суточных расходов воды. Снижение весеннего стока отмечается в пределах от 15 до 40%, а увеличение летне-осеннего и зимнего стока колеблется от 40 до 170%. В результате этого существенно снизились риски опасных гидрологических явлений, связанных с формированием очень высоких расходов воды в период весеннего половодья.

Значительную угрозу для транспортной инфраструктуры Воронежской области представляет прогнозируемый рост летних температур и, соответственно, повторяемости и интенсивности периодов с экстремально высокими температурами. В условиях большой загруженности автодорог такие температуры вызовут увеличение колеиности. Увеличение числа случаев перехода температуры воздуха через ноль приводит к морозным деформациям автомобильного и железнодорожного полотна.

Литература

1. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменению климата на период до 2022 года. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. N 3183-р.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.
3. Паспорт климатической безопасности Воронежской области. Утвержден Министром природных ресурсов и экологии Воронежской области 25.12.25 г.

ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД УРЖУМСКОГО КОМПЛЕКСА В ПРЕДВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Республика Татарстан расположена на востоке Русской платформы в пределах Волго-Уральской антеклизы. В её пределах выделяют пять географо-экономических регионов. Один из них – Предволжский регион – расположен по правобережью р. Волги (Куйбышевского водохранилища) на северной оконечности Приволжской возвышенности, в пределах Волго-Сурского артезианского бассейна. Его площадь составляет около 9700 км², численность населения ~130 тыс. человек. Это сельскохозяйственная территория без крупных промышленно-гражданских центров.

Довольно интенсивно расчлененная территория Предволжья представляет собой чередование денудационных и эрозионно-аккумулятивных поверхностей в гипсометрическом интервале 53 м (НПУ Куйбышевского вдхр.) – 270 м (юго-западная часть региона). Наиболее крупной рекой является р. Свияга. Ее долина протягивается в субмеридиональном направлении параллельно руслу р. Волги и делит площадь региона на две примерно равные части. В указанном гипсометрическом интервале вскрываются пермские, юрско-меловые и плиоцен-четвертичные отложения. Основной чертой структурных планов доплиоценовых образований является общее снижение в южном и юго-западном направлениях. Это снижение особенно ярко проявляется южнее пос. Камское Устье (рис.).

Пермские отложения представлены образованиями казанского и уржумского ярусов средней перми, а также северодвинского и вятского ярусов верхней перми. Морской сероцветный терригенно-сульфатно-карбонатный комплекс казанских отложений имеет мощность около 100 м. Преобладающими в его составе являются карбонатные породы, на долю которых приходится 55–100% разреза. Подчинённую роль играют гипсы и ангидриты (до 40%), глины (до 15%), алевролиты (до 7%) и песчаники (до 6%) [6]. Мощности отдельных прослоев могут достигать 9 м, но в основном они находятся в диапазоне 3–5 м. На основе особенностей строения разрезов и палеонтологической характеристики различают верхнеказанский и нижнеказанский подъярусы, обладающие мощностями до 50 м, редко более. Вдоль долин рек в пределах положительных структур вскрываются лишь верхнеказанские отложения. Уржумские и верхнепермские отложения имеют близкий состав и сходное строение. Это

чередование континентальных красноцветных песчаников, алевролитов и глин, содержащих прослой мергелей, известняков и доломитов. Породы обычно не выдержаны по простиранию, характеризуются незакономерной сменой по разрезу и наличием размывов. Мощности прослоев редко когда превышают 5–6 м. В этом карбонатно-терригенном матриксе возможно присутствие гипсов. Общая мощность данной пестроцветной толщи 240 м [6].

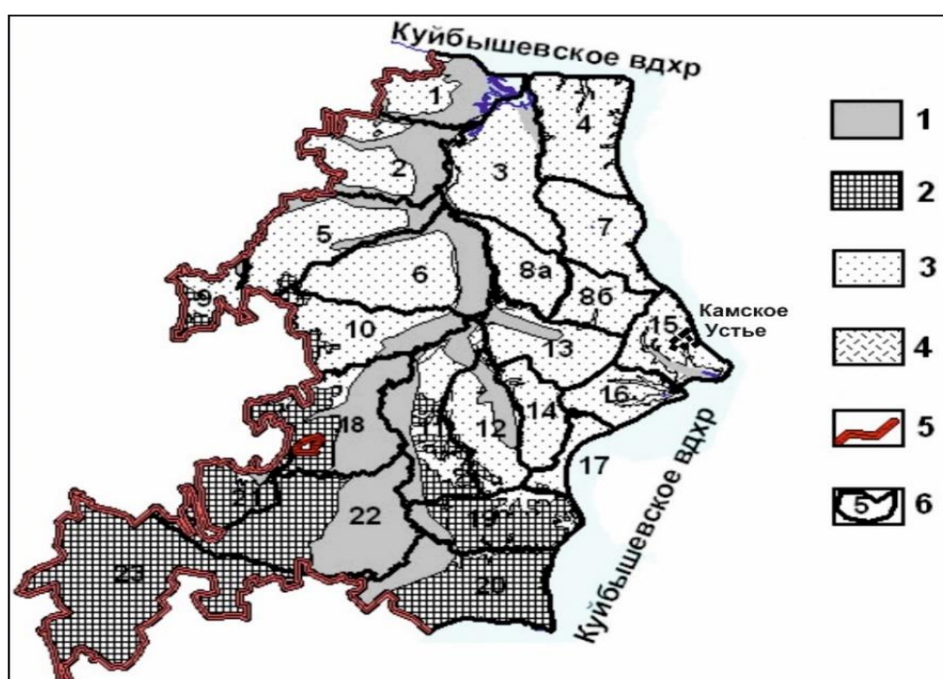


Рис. Предволжский регион Татарстана:

1 – 4 приповерхностное развитие отложений: 1 – плиоцен-четвертичных, 2 – мезозойских, 3 – уржумско-вятских, 4 – казанских; 5 – граница РТ; 6 – контуры водосборных бассейнов и их номера.

Юрско-меловые отложения имеют морской генезис. Они развиты на площади около 2900 км² и представляют собой мощную (до 390 м) сероцветную глинистую толщу с редкими прослоями тонко-мелкозернистых песчаников и мергелей. Мощности прослоев редко когда превышают 1 м. Общей особенностью этих отложений обогатенность органическим веществом; наличие выделений гипса в виде мелких зерен и корочек, многочисленных мелких вкраплений пирита, железистых и лимонит-гипсовых конкреций. Стратиграфическая полнота разрезов увеличивается в южном и юго-западном направлениях. Структурная поверхность по кровле батских отложений, залегающих в основании юрского осадочного комплекса, плавно снижается в указанных направлениях от 180–216 м до минус (70–113 м), ее средний уклон ~0,004. В зонах максимального погружения юры отмечается размыв пермских отложений вплоть до верхнеказанского подъяруса включительно.

Основное поле развития плиоцен-четвертичных отложений – речные долины, в первую очередь долина р. Свияга. Представлены они песчано-глинистым аллювием мощностью до 150 м.

В охарактеризованной осадочной толще локализованы межпластовые подземные воды, формирующие типичные междуречные потоки, основными областями питания которых являются водораздельные пространства, а разгрузки – речные долины и Куйбышевское водохранилище. Согласно гидростратиграфическому принципу здесь выделяют следующие водоносные и слабоводоносные комплексы: плиоцен-четвертичный (N_2-Q), меловой (K), юрский (J), татарский (P_{3t}), уржумский (P_{2ur}), верхнеказанский (P_{2kz_2}) и нижнеказанский (P_{2kz_1}). Ресурсы пресных подземных вод составляют 928,7 тыс. м³/сут, а величина разведанных запасов – 74 тыс. м³/сут [1]. Значительная часть ресурсного потенциала приходится на уржумский и верхнеказанский водоносные комплексы, а основная часть месторождений пресных подземных вод сосредоточена в плиоцен-четвертичных отложениях долины р. Свияга.

Предволжский регион был относительно детально изучен в масштабе 1:200000 во второй половине 1990-х и начале 2000-х гг. В это время в его северной части специалистами ФГУП “Волгагеология” проведена гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка (Кочуров Е.Ю. и др., 2001). Центральная и южная части региона покрыты эколого-гидрогеологической съемкой сотрудниками ТГРУ ПАО “Татнефть” (Солнцев А.В. и др., 2001). Данные исследования сопровождались детальным изучением состава всех основных компонентов окружающей среды (поверхностные и подземные воды, снежный и почвенный покровы, породы зон аэрации и насыщения). При этом общее количество проанализированных проб подземных вод – около 1500.

В 2019-2020 гг. гидрогеологами ГУП “Геоцентр РТ” проведены мониторинговые исследования качественного состояния подземных вод верхней части разреза Предволжского региона на основе 500 гидропроб с родников и эксплуатационных скважин (Кадошников С.С. и др., 2021). Анализ разновременных аналитических данных позволил установить практическую неизменность во времени показателей химического состава подземных вод. В отдельных случаях даже отмечается улучшение их качества, что было связано со снижением техногенного пресса за счет продолжающейся депопуляции территории [3].

Дальнейшее рассмотрение особенностей состава подземных вод Предволжья базируется на материалах 1990–2000-х гг. Это связано с более равномерным опробованием и более широким спектром аналитических данных в этот период времени. Последние представлены следующим комплексом компонентов и параметров: pH , сухой остаток, жесткость, перманганатная окисляемость, кремнекислота; ионный состав: HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(Na+K)^+$, NH_4^+ ;

микрокомпонентный состав: *Al, As, B, Ba, Be, Br, Cd, Cu, Cr, F, Fe_{общ}, I, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn*, нефтепродукты.

Подземные воды региона характеризуются высокой вариабельностью состава (табл. 1, приводятся обобщенные данные по составу вод родников и разнотипных скважин, наименование (тип) воды согласно [5]).

Таблица 1

Некоторые интегральные показатели гидрогеологических подразделений
верхней части разреза Предволжского региона

Индекс подраз-деления	Кол-во проб	Абс. отметки уровня, м	Напор, м	Дебит род., уд. дебит скв., л/с	Сухой остаток, мг/л	Жесткость общая, мг-экв/л	Преобладающий тип воды	Кол-во некондиционных проб
<i>N₂-Q</i>	5 (скв.)	60-130 99±22 95	-	-	371-443 415±27 423	5,0-7,6 5,9±1,2 5,2	HCO ₃ /Mg-Ca, HCO ₃ /Mg-Ca-Na	1 (20%)
<i>K</i>	52	100-240 186±33 184	4-56 26±18 20	0,01-10 1,1±2,1 0,2	220-1843 464±251 418	3,1-24 6,8±3,3 5,9	HCO ₃ /Ca, Mg-Ca, Mg-Na-Ca и Ca-Na; SO ₄ -HCO ₃ /Mg-Ca	43 (83%)
<i>J</i>	144	70-195 128±31 123	До 106	0,01-2,4 0,2±0,4 0,1	162-2060 574±283 479	1,8-18,0 7,4±2,4 7,2	HCO ₃ , SO ₄ -HCO ₃ / разнообразный по катионам	89 (62%)
<i>P_{3t}</i>	351	53-209 137±35 140	0-72 19±15 18	0,0-11,4 0,6±1,4 0,2	142-2180 429±223 375	1,7-21,0 6,8±2,0 6,6	HCO ₃ /Mg-Ca; SO ₄ -HCO ₃ / разнообразный по катионам	139 (40%)
<i>P_{2ur}</i>	697	10-180 105±25 100	0-126 29±20 26	0,001-35 0,7±2,0 0,2	164-3220 497±320 404	1,6-28,1 6,9±2,1 6,6	HCO ₃ , SO ₄ -HCO ₃ / разнообразный по катионам	303 (43%)
<i>P_{2kz2}</i>	152 (скв.)	32-145 64±18 60	0-170 31±28 26	0,03-18,1 0,7±1,8 0,3	310-5360 976±838 639	3,5-46,1 13,7±9,4 10,2	HCO ₃ /Mg-Ca, SO ₄ -HCO ₃ , HCO ₃ -SO ₄ и SO ₄ /Mg-Ca	142 (93%)
<i>P_{2kz1}</i>	83 (скв.)	12-100 56±19 57	0-150 50±38 38	0,02-15,5 1,0±2,9 0,24	441-8500 2210±1227 2194	6,4-57,0 28,9±13,0 29,2	SO ₄ -HCO ₃ , HCO ₃ -SO ₄ и SO ₄ /Mg-Ca	81 (98%)

Примечание. В этой и последующих аналогичных таблицах первая строка цифр – предельные значения, вторая – среднее ± стандартное отклонение, третья – медиана; в последней графе – на основе учета ПДК макрокомпонентов для вод питьевого качества

Ярко выраженная анизотропия гидрогеохимического поля зоны пресных подземных вод определяется тремя основными факторами – минералого-геохимическим составом водовмещающих пород, временем взаимодействия в системе “вода–порода”, а также интенсивностью и составом питания (приходных элементов водного баланса каждого

гидрогеологического подразделения). Наиболее отчетливо характер изменения основных показателей химического состава подземных вод отражается на гидрогеохимических картах. Такие карты в масштабе 1:200000 автором были составлены на каждое отраженное в таблице 1 гидрогеологическое подразделение. Особенности гидрогеохимического поля зоны пресных подземных вод в обобщенной форме отражены в [2]. Максимально широко различные гидрогеохимические процессы от выщелачивания до высаливания проявлены на уровне юрского слабоводоносного комплекса. Довольно детально описание этих процессов приведено в [4], а данная статья посвящена рассмотрению особенностей состава подземных вод уржумского комплекса и условий его формирования.

В Предволжском регионе уржумский водоносный локально слабоводоносный карбонатно-терригенный комплекс имеет практически повсеместное развитие. Он отсутствует в нижних частях склонов долин малых водотоков в пределах крупных положительных структур в северной и центральной части региона, где обнажаются верхнеказанские отложения. Также уржумские отложения размыты в средней и нижней части долины р. Свияги и на крайнем юго-западе в области развития мезозойских образований. Уржумские отложения представлены преимущественно пестроцветными терригенными образованиями – глинами, алевролитами, песчаниками и переходными разностями пород, содержащими прослой известняков, доломитов и мергелей. На отдельных участках карбонатные породы могут стать преобладающими. В нижней и средней частях разреза возможно наличие гипса в виде линзовидных прослоев мощностью до 1,5 м, прожилков, округлых включений. В карбонатных породах встречаются включения кварца, пирита, целестина, глауконита, халцедона. Максимальная мощность уржумских отложений отмечается в центральной и северной частях региона, где она достигает 100–110 м. Они с размывом залегают на верхнеказанских образованиях и с размывом перекрываются верхнепермским осадочным комплексом.

По условиям залегания уржумского водоносного комплекса можно выделить несколько областей. Первая область охватывает самую северную часть региона. Здесь комплекс обладает значительными площадями поверхностных выходов и лишь в верхней части водораздельных склонов он перекрывается не очень мощным покровом татарских отложений. Вторая область занимает центральную часть региона, где в связи с общим снижением структурного плана в южном направлении мощность перекрывающих пермских отложений увеличивается, на отдельных локальных участках возможно появление и юрских образований, как в пределах водосборных бассейнов № 10–12 (рис.), а поверхностные выходы уржумского комплекса отмечаются лишь в нижних частях речных долин. Третья область охватывает южную часть региона. Пространственно она

совпадает с полем развития мезозойских. В этой области площади приповерхностного развития уржумских отложений крайне незначительны. Они перекрываются довольно мощной терригенной полигенной толщей татарских и мезозойских отложений, а в долине р. Свияги – плиоцен-четвертичным аллювиальным комплексом. Условия залегания определяют особенности питания и интенсивность (скорость) водообмена. Это наряду с алюмосиликатным и карбонатным составами водовмещающей толщи и определяет основные гидрогеохимические особенности уржумского комплекса (табл. 2, 3).

Таблица 2

Некоторые гидрогеодинамические и гидрогеохимические данные по родникам уржумского водоносного комплекса

Местоположение	Кол-во проб	Абс. отметки уровня, м	Дебит, л/с	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Преобладающий тип воды	Кол-во некондиционных проб
Все родники	413	55-180 109±41 109	0,0-35,0 0,9±2,4 0,3	164-1664 387±147 351	2,4-19,8 6,6±1,7 6,4	HCO ₃ /Mg-Ca, реже HCO ₃ /Ca-Mg	109 (26,4%)
Северная часть региона	324	70-180 117±23 118	0,0-16,0 0,7±1,3 0,3	164-1130 372±126 345	2,4-17,1 6,5±1,5 6,4	HCO ₃ /Mg-Ca, реже HCO ₃ /Ca-Mg	79 (24,4%) Ж (2,4), реже NO ₃ (5,6)
Центральная, с наличием J отложен.	57	80-145 108±17 108	0,01-35,0 2,0±5,7 0,3	240-823 410±145 362	2,9-13,3 7,0±2,1 6,7	HCO ₃ /Mg-Ca и HCO ₃ /Ca-Mg	23 (40,4%); Ж (1,9), реже NO ₃ (4,1)
Южная часть региона	8	70-80 74±4 72	0,0-11,2 2,5±4,1 0,2	302-1664 595±451 408	4,2-19,8 9,1±4,9 7,5	HCO ₃ /Mg-Ca	5 (63%); Ж (2,8), реже NO ₃ (12,9)

Примечание. В последней графе приведены основные параметры, определяющие питьевую некондиционность родниковых вод (Ж – жесткость) и, в скобках, максимальное превышение соответствующих ПДК.

Важнейшие из этих особенностей следующие. При направлении с севера на юг происходит: постепенное увеличение минерализации (в первую очередь за счет концентраций SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+); увеличение разнообразия типов подземных вод вплоть до появления HCO₃/Na и SO₄/Na составов, тогда как в северной части региона преобладающим развитием пользуются HCO₃/Mg-Ca воды; увеличение объема подземных вод, некондиционных в питьевом отношении; расширение спектра компонентов, концентрации которых превышают соответствующие ПДК для вод питьевого качества. Данные особенности обусловлены комплексом ранее указанных природных факторов. Важнейшее значение имеют карбонатно-терригенный состав водовмещающих пород, интенсивность водообмена, которая снижается в южном направлении по мере погружения

кровли уржумского комплекса и увеличения мощности перекрывающих его осадочных образований, в составе которых все большую роль начинают играть преимущественно глинистые и слабо промытые первично морские юрско-меловые отложения, а также характер питания. Если в северной части региона основное питание уржумский комплекс получает за счет инфильтрации непосредственно атмосферных осадков и их дериватов, первоначально реагирующих с маломощной толщей верхнепермских преимущественно терригенных отложений, то в южной части региона преобладающий объем питания приходится на перетекание из юрских и весьма маломощных за счет предъюрского размыва верхнепермских образований.

Таблица 3

Некоторые гидрогеодинамические и гидрогеохимические данные по скважинам, вскрывшим уржумский водоносный комплекс

Местоположение	Кол-во проб	Абс. отметка и уровня, м	Напор, м	Удельн. дебит, л/с	Коеф. фильтр. м/сут	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв/л	Преобладающий тип воды	Кол-во некондиционных проб
Все скважины	284	10-180 90±26 90	0-126 31±22 28	0,0-1,5 0,27±0,3 0,17	0,0-31,9 3,2±4,5 1,8	239-3220 691±514 516	1,6-28,1 7,6±2,7 7,4	Разнообразные по анионам и катионам	260 (91,5%)
Север. часть региона	46	58-180 111±32 114	0-56 21±15 15	0,0-1,3 0,27±0,3 0,20	0,0-31,9 4,2±6,6 1,6	239-1707 479±233 430	4,3-19,9 8,0±2,5 7,5	HCO ₃ /Mg- Ca и HCO ₃ /Ca-Mg	35 (76%) Ж (2,8), редко NO ₃ (2,8); Fe (11), Mn (2), редко н/пр (1,9)
Центр. с наличием J отлож.	68	55-136 98±18 97	0-79 28±16 29	0,0-1,4 0,24±0,3 0,17	0,0-18,2 2,5±3,2 2,0	289-2000 518±236 462	3,2-13,5 7,7±1,9 7,7	HCO ₃ , реже SO ₄ -HCO ₃ /разнообразные по катионам	63 (93%) Ж (1,9), редко NO ₃ (3,8); Fe (12), Mn (3,9), B(4,2) н/пр (3,5)
Южная часть региона	158	10-144 81±22 80	0-126 36±25 30	0,0-1,5 0,28±0,3 0,16	0,1-26,0 2,9±3,9 1,7	301-3220 846±618 611	1,6-28,1 7,5±3,0 7,2	HCO ₃ , SO ₄ -HCO ₃ , HCO ₃ -SO ₄ /разнообразные по катионам, редко HCO ₃ /Na и SO ₄ /Na	150 (95%) Ж (4), реже M(3,2), SO ₄ (4,1), Na (4,1), Si (3,5); B(25), Fe(15), н/пр (43), редко Mn(16), Se (23), Cd(10)

Примечание. В последней графе учтены данные и по микрокомпонентному составу подземных вод (М – минерализация, н/пр – нефтепродукты).

Именно с этим перетеканием связано увеличение концентраций в первую очередь Cl^- и Na^+ , а также бора и нефтепродуктов. Последние два компонента обладают максимальной активностью в подземных водах именно юрского комплекса на участках их максимальной мощности и перекрытия меловым комплексом. Большая часть эксплуатационных и поисковых скважин, фильтры которых установлены на уровне уржумских отложений, в южной части Предволжского региона отличаются сверхпредельными концентрациями бора и нефтепродуктов, к которым часто добавляется железо (и это, не учитывая содержания макрокомпонентов).

Роль антропогенного фактора в формировании состава подземных вод обычно проявлено в населенных пунктах и на их окраинах, на участках расположения ферм и машинно-тракторных парков. Именно эти объекты представляют собой аномальные в гидрогеохимическом отношении зоны. В первую очередь эта аномальность проявляется появлением в подземных водах повышенных содержаний NO_3^- , органических веществ, реже Pb и Cd .

Ограниченный объем статьи не позволяет более подробно рассмотреть геохимию и условия формирования состава подземных вод уржумского комплекса. В заключение необходимо остановиться на основной гидрогеоэкологической проблеме Предволжского региона, наиболее ярко проявленной в его южной части, в поле сплошного развития мезозойских отложений. Эта проблема доступности качественной питьевой воды. При неглубоком залегании водопроницаемых прослоев в глинистой толще они проявляются родниками, которые в большинстве случаев активно используются местным населением, или вскрываются колодцами. В большей части колодцев вода не отвечает питьевым стандартам. Фильтровыми скважинами трудно перехватить маломощные водоносные пласты, поэтому в большей части населенных пунктов мезозойская толща проходится на полную мощность и фильтры устанавливаются на уровне пермских отложений – уржумского или казанских водоносных комплексов, о качестве воды которых можно судить по таблицам 1 и 3. Поэтому одной из основных и неотложных задач является освоение разведанных в долине р. Свияга месторождений питьевых подземных вод и организация качественного хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов данной части Предволжского региона.

Литература

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2024 г. – Казань, 2025. URL: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4607449.pdf (дата обращения 10.01.2026).

2. Мусин Р. Х. Геохимия и условия формирования состава подземных вод в области развития мезозойских отложений в Республике Татарстан /Р.Х. Мусин, А.Д. Хамитов, З.Г. Калкаманова //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2023. – № 2. – С. 67–81.

3. Мусин Р.Х. Особенности трансформации во времени состава пресных подземных вод в Республике Татарстан /Р.Х. Мусин, А.Р. Галиева, А.Д. Хамитов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2023. – Т. 165, кн. 3. – С. 427–446.

4. Мусин Р. Х. Особенности формирования состава подземных вод в преимущественно глинистых первично морских толщах /Р.Х. Мусин, А.Д. Хамитов //Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: труды V Всероссийской конференции с междунар. участием им. проф. С.Л. Шварцева /Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2023. – С. 24–28.

5. Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. – 12 с.

6. Сводная геологическая карта доплейстоценовых отложений Республики Татарстан масштаба 1:200000. Пояснительная записка. – Казань: Изд-во “Арника”, 1997. – 118 с.

**Королёв А. Э.,
Маннапова Л. М.**

*ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Россия,
E-mail: albert-korolev-kpfu@mail.ru; liaisan.mannapova@yandex.ru*

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ СУГЛИНКОВ ПОГРЕБЕННЫХ ПАЛЕООБРАГОВ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ТАТАРСТАНА

Территория Приволжской возвышенности в пределах Республики Татарстан в последние годы активно вовлекается в развитие урбанистической инфраструктуры в целях устойчивого развития и улучшения экономических связей с соседними регионами. В настоящее время здесь ведется строительство города Иннополис с сопутствующими постройками-спутниками, обустраиваются автомобильные трассы М-7 и М-12, укрупняются поселковые центры. Освоение нового пространства, ранее отведенного под сельское хозяйство, потребовало от строительных организаций провести комплексные мероприятия, направленные на сбор данных о природных и инженерно-геологических условиях территории. В результате этого было установлено, что восточная окраина Приволжской возвышенности в пределах Татарстана характеризуется весьма сложным геолого-геоморфологическим строением. Перепады гипсометрических

отметок поверхности рельефа составляют от 53,0 м у уреза р. Волга до 180,0 м на водоразделах. Наличие двух крупных речных долин по обе стороны от водораздельной площади в неоген-четвертичное время создали условия для развития на рассматриваемой площади многочисленных оврагов, направленных в сторону долин реки Волга и Свияга. Пораженность земель овражной эрозией составляет 36% территории восточной окраины Приволжской возвышенности. В неоплейстоцене все овраги были заполнены пролювиально-делювиальными отложениями, отражаясь в современном рельефе выположенными балками. Выходы родников в верховьях балок на склонах водоразделах способствовали развитию вдоль погребенных палеооврагов ручьев и небольших речушек, впадающих в р. Волга и Свияга.

При обустройстве дорожных автомагистралей, а также при прокладке подземных коммуникаций, возведении зданий и инженерных сооружений, грунты погребенных палеооврагов часто служат основаниями, на которых ведутся строительные работы. Являясь более слабыми грунтовыми толщами, по сравнению с коренными породами уржумского яруса, они требуют к себе повышенного внимания. Поэтому при их проходке строительным организациям приходится проводить расширенный комплекс инженерно-геологических исследований, включающий в себя определение условий залегания грунтов, их строение и гидрогеологические особенности. При этом, несмотря на проведенные исследования, часто в пределах погребенных палеооврагов на стадии строительства инженерных объектов или в процессе их эксплуатации проявляются негативные геодинамические процессы в виде оползней [1, 2]. Учитывая это, были проведены более детальные изучения грунтовых толщ неплейстоценовых погребенных оврагов с привлечением лабораторных методов исследования.

Полевые исследования, проведенные в период 2022-2025 гг., показали, что делювиальные отложения в пределах восточной окраины Приволжской возвышенности развиты не только в погребенных неоплейстоценовых оврагах, но и на выположенных склонах водораздельных эрозионно-денудационных холмистых возвышенностях. Их отсутствие отмечается только на сводах холмов, где преобладают элювиальные покровные образования, и в пределах небольших по протяженности речных долин, где аккумулируются аллювиальные грунтовые толщи. Делювиальные отложения плащеобразно залегают на поверхности в различной степени выветрелых коренных пород уржумского яруса. Контакты с подстилающими породами весьма резкие, проходят по эродированной поверхности доломитовых мергелей, глин и песчаников. На склонах делювиальные отложения залегают в виде шлейфов, выклиниваясь в верх, по направлению к сводам, и увеличиваясь по толщинам вниз к подножию поднятий. Часто шлейфы переходят в делювиальные грунтовые

толщи, выполняющие врезы палеооврагов неоген-четвертичного возраста. В оврагах мощность четвертичных осадков увеличивается до 15-25 м.

Основная часть делювиальных толщ представлена светло-бурыми лесовидными суглинками, с поверхности перекрытых относительно небольшим слоем (до 0,6 м) темно-бурых глин, по которым развивается почвенный слой. Суглинки слабо сцементированные, характеризуются преимущественно рыхлым сложением, с массивной текстурой. На различных уровнях в разрезах отмечаются протяженные вертикальные цилиндрические каналы ходов, сделанные корневой системой травянисто-кустарниковой растительности. По стенкам пустотелых каналов развиваются трубчатые светло-серые кальцитовые агрегаты, способствующие сохранности корневых ходов. В естественных обнажениях делювиальные суглинки, несмотря на слабую цементацию минеральных зерен, образуют устойчивые к обрушениям практически отвесные стенки высотой до 8-10 м. В стенках породы разбиты протяженными вертикальными экзогенными трещинами на столбчатые отдельности, которые в период снеготаяния обрушаются с образованием в грунтовых толщах ровных стенок отрыва. Подобные обрушения сопровождают и техногенные грунтовые выемки при прокладке автомобильных трасс, заложение котлованов и обустройстве подземных коммуникаций.

Изучение структурных особенностей делювиальных отложений показало, что в составе обломочной компоненты преобладают алевритовые фракции (68-74%), на долю пелитовой фракции приходится 16-22%, зерна псаммитовой размерности составляют около 10%, из них преобладают трубчатые агрегаты аутигенного кальцита. По результатам рентгенографического анализа минеральный состав пород выглядит следующим образом: зерна кварца – 28-36%, зерна альбита – 18-34%, зерна микроклина – 10-15%, иллит – 6-11%, смешанослойная фаза иллит-монтмориллонитового состава 6-7%, хлорит – 2-4%, каолинит 2-3%, обломки доломита – 1-2%, аутигенный кальцит – 6-8%, гематит – 1%. Таким образом, в лесовидных суглинках преобладают аллотигенные зерна минералов, сцементированные глинистым полиминеральным цементом (рис. 1). Морфологические особенности минеральных зерен (угловатые очертания с многочисленными сколами часто с острыми краями, раковистый излом) указывают, что образование лесовидных суглинков происходило в зоне криогенного воздействия [3]. Вероятно, лесовидные суглинки формировались в период валдайского оледенения, когда территория Приволжской возвышенности входила в перигляциальную область.



Рис. 1. Фотографии отмытых зерен минералов алевроитовой фракции и трубчатых агрегатов аутигенного кальцита.

Изучение физических свойств делювиальных толщ показало, что грунты обладают высокой пористостью (30,59-32,83%) и относительно низкой плотностью (1,86-2,01 г/см³). Средняя плотность минеральных зерен находится в пределах 2,67-2,68 г/см³. Верхний предел пластичности составляет 28,64%, нижний – 16,76%, число пластичности – 11,85. Грунты обладают весьма нестойкими структурными связями. Если в воздушно-сухом состоянии лессовидные суглинки могут долгое время держать заданную форму, то в водной среде практически сразу распадаются на отдельные зерна, превращаясь в рыхлую бесструктурную массу. В приборе ПРГ-1Ф все образцы делювиальных грунтов через 1-2 мин. полностью теряли связность. По модулю деформации суглинки являются сильнодеформируемыми (5,0 МПа < E < 10,0 МПа), по силе сцепления – грунтам с чрезвычайно и очень низкой прочностью ($C_u < 10$ кПа и $10 \text{ кПа} < C_u < 20$ кПа). Таким образом, грунты склоновых шельфовых отложений и погребенных неоплейстоценовых оврагов обладают низкими прочностными свойствами и весьма нестойкими структурными связями, способными разрушаться под воздействием воды.

Подобные инженерно-геологические особенности лессовидных суглинков обусловлены особенностями их структурного микростроения. В ненарушенном состоянии породы сложены соприкасающимися минеральными зернами, на контактах которых сформированы глинистые мостики. Эти мостики удерживают аллотигенные обломки в естественном положении, приобретенном на стадии их аккумуляции. Однако, за счет небольшого содержания глинистой компоненты суглинки обладают высокой пористостью, способствующей проникновению в грунтовые толщи вод атмосферных осадков. В условиях естественного залегания, когда на породы оказывается всестороннее боковое давление и минеральным зернам некуда перемещаться, лессовидные отложения

находятся в устойчивом положении. Когда при строительстве инженерных объектов происходит нарушение грунтовых толщ, то со стороны техногенных обнажений создаются предпосылки для выпирания части грунтов, сопровождающиеся обрушением и сходами оползней. К активизации негативных геодинамических процессов обычно приводят инфильтрационные воды атмосферных осадков, разрушающие глинистые структурные связи между минеральными обломками и вызывающие переход грунтов в вязко-пластичное состояние.

Литература

1. Королёв Э.А. Особенности строения грунтовых толщ неоплейстоценовых погребенных оврагов восточной части Приволжской возвышенности и их подверженность оползневым процессам / Э.А. Королёв, А.Э. Королёв, Э.Р. Бариева, С.А. Лившиц // Успехи современного естествознания. 2024. – №5. – С. 104-109.

2. Королёв А.Э. Оползневые деформации делювиальных отложений погребенных оврагов при их вскрытии дорожными выемками / А.Э. Королёв, А.И. Латыпов // Минералы и минералообразование в природных и техногенных процессах. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Уфа, 24–27 сентября 2024 г) [Электронный ресурс]. – Москва: Издательство «Перо», 2024. – С. 40-42.

3. Рогов В.В. Позднеплейстоценовый криогенез в нижнем Поволжье / В.В. Рогов, И.Д. Стрелецкая, Н.А. Таратунина, А.Н. Курчатова, Р.Н. Курбанов, Т.А. Янина // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. – № 6. – С. 73-85.

**Кульнев В. В.,
Кизеев А. Н.***

Центрально-Черноземное межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, г. Воронеж, E-mail: kulneff.vadim@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

**«Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»*

Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека г. Санкт-Петербург E-mail: a.kizeev@s-znc.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ХИБИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Одним из стержневых вопросов современной экологической геологии является анализ состояния компонентов окружающей среды техногенно нагруженных территорий.

Для Кольского Заполярья, в силу особенностей организации промышленной освоенности, наиболее значимыми являются рудные районы, расположенные в западной части Мурманской области, в пределах которых

отмечается максимальный уровень техногенного воздействия, вызванный горнодобывающей и металлургической деятельностью. Для восточной части Кольского полуострова техногенная освоенность не характерна.

Хибины являются крупнейшим горным массивом на Кольском полуострове. Геологически они представляют щелочную интрузию. В петрографическом отношении доминирующими породами являются нефелиновые сиениты.

В данном исследовании хотелось бы остановиться на описании Хибинского рудного района поименованного в часть Хибинского горного массива в эколого-геологическом отношении. Площадь Хибинского рудного района, расположенного в Центральной части Балтийского щита, составляет 1,3 тыс. км². Основными полезными ископаемыми являются сульфидные медно-никелевые (месторождение Сопчуайвенч) и апатит-нефелиновые руды, добываемые на месторождениях Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый цирк, Коашва, Ньоркпахк и плато Расвумчорр.

Хибинский рудный район расположен в пределах Апатитского, Кировского и Мончегорского муниципальных округов Мурманской области. В г. Мончегорске население составляет 42 581, в г. Апатиты – 49 647 человек, а в городе Кировске – 24 857 человек. В 30-х годах XX века был открыт комбинат «Североникель», работающий по настоящее время. В среднем за год добывается и перерабатывается более 14 млн. т. руды в год. В среднем за год – 1,74 млн. тонн выбросов [1].

Нами были проведены исследования в зоне влияния комбината «Североникель» с 2015 по 2019 годы. Согласно полученным результатам, наблюдалось перманентное снижение содержания никеля (от 2,7 до 0,4 тыс. т.) и меди (от 1,9 до 0,7 тыс. т.) в выбросах от организованных источников загрязнения атмосферы. Масса выбросов данных загрязняющих веществ варьировалась в пределах от 0,4 до 2,7 тыс. т [1]. В химическом составе выбросов значительная доля принадлежит диоксиду серы (более 75%) [5]. Наряду с медно-никелевым производством воздействие на воздушную среду оказывает добыча и обработка минерального сырья, а также процессы пыления хвостохранилищ [Кульневавтореф, Экогеосистемы].

В исследованиях А.В. Евсеева, А.Д. Телековой определено, что концентрации меди достигают 1000 мг/кг и 500 мг/кг по никелю. При этом фоновые концентрации составляют 4,5 мг/кг и 2,0 мг/кг соответственно. Следует отметить, отсутствие эпифитных лишайников на стволах деревьев, произрастающих в районе деятельности комбината.

Выбор объектов исследования не случаен. Горнодобывающая и металлургическая отрасли промышленности характеризуется максимальным уровнем трансформации компонентов природной среды [3]. В зоне влияния горно-обогачительных комбинатов происходит формирование техногенных ландшафтов, образование депрессионных воронок, которые приводят к изменению глубины залегания подземных

вод, обмелению поверхностных водных объектов. Происходит образование хвостохранилищ (площадей размещения отходов обогащения рудной массы), отвалов вскрышных пород (терриконов), формирование карьеров.

Пространственное распределение поллютантов и их концентрация могут существенно различаться на территории горнодобывающих предприятий, где располагается целый ряд источников техногенного загрязнения, образуя сложный техногенный комплекс.

Накопление поллютантов происходит в природных водах и в почвенном покрове. Они образуют депонирующую среду, а атмосфера выступает в роли переносчика загрязняющих веществ [Кульнев-авторевф].

Из древесной растительности на данных площадях доминирует сосна (*Pinus sylvestris* – *subsp. Lapponica* Fries (*P. lapponica* Mayr.)), с малым добавлением ели (*Picea obovata* Ledeb., *P. excelsa* var. *Obovata* Ledeb., *Picea fennica* (Regel.) Kom.), и березы (*Betula nana* L., *Betula tortuosa* Ledeb.). Почвы классифицируются как Al-Fe-гумусовые подзолы. Подстилающие породы состоят из гнейсов и гранитов.

В результате проведенного авторского исследования были выделены три зоны – с высокой, средней и низкой степенью деградации растительного покрова в радиусе более 10 километров. Высокой степени деградации подвержено около 3 тыс. га, средней – около 6,5 тыс. га и низкой – около 30 тыс. га. Высокие концентрации меди и никеля выявлены в хвое в зоне близкого влияния комбината.

С увеличением расстояния от комбината содержание тяжелых металлов в хвое сосны снижается до 3–4 мг/кг сухой массы [2].

На состояние хвои сосны оказывает воздействие металлосодержащая пыль медно-никелевого производства. Так как частицы пыли разносятся по зоне влияния и осаждаются на хвое, загрязнение растительности происходит посредством атмосферных осадков [10].

Атмосферные осадки, собранные в районе деятельности комбината, имеют рН 3,7, то есть, в основном, выпадают кислые осадки. В средней зоне деятельности комбината рН составляет 4,5. При удалении от комбината рН атмосферных осадков приближается к нейтральным значениям.

Следует отметить, что указанный метод вполне применим к оценке экологического состояния территорий, имеющих правовой статус особо охраняемых [4, 5].

Таким образом, проведенный эколого-геологический анализ показал наличие негативного воздействия медно-никелевого производства на компоненты окружающей среды. Комбинат «Североникель» проводит активную экологическую политику и мониторинг. Однако эффективность этих мероприятий пока ещё не достигла оптимального уровня. Поэтому необходимо проведение дополнительных научных исследований в целях усовершенствования существующей системы экологического мониторинга и

структуры горнопромышленного производства, например, с применением фрактального анализа [6, 8, 9].

Статья посвящается светлой памяти – «просто геолога» – Сергея Леонидовича Кузнецова (14.06.1965 – 22.01.2020)

ЛИТЕРАТУРА

1. Дядик В.В., Дядик Н.В., Ключникова Е.М. и др. Оценка влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха микрочастицами на здоровье населения Арктического региона на примере Мурманской области: монография // Апатиты. Кольский научный центр Российской академии наук. 2022. 119 с. ISBN 978-5-91137-472-3. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.472.3>.

2. Кизеев А.Н. Состояние окружающей природной среды в районе расположения предприятия цветной металлургии (Мурманская область) [Электронный ресурс] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11-3. Путь доступа: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6166> Дата обращения: 28.12.2023.

3. Косинова И.И., Богословский В.А., Бударина В.А. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование // Воронеж. Издательство Воронежского государственного университета, 2004. – 281 с. ISBN 5-9273-0673-2.

4. Кульнев В.В., Кизеев А.Н. Использование фрактальных характеристик вегетативных органов *Populus pyramidalis* при биоиндикации состояния внутридворовых городских территорий // Педагогическое регионоведение. Борисоглебск. 2025. Т. 1, № 22. – С. 138-142.

5. Кульнев В.В., Кизеев А.Н., Борисова Д.С. Метеоиндикация состояния рудных районов // Проблемы региональной экологии. Москва. 2023. № 1. С. 87-97. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-87-97>.

6. Кульнев В.В., Насонов А.Н., Цветков И.В. и др. Биотестирование почв на основе фрактальных характеристик растений // Принципы экологии. Петрозаводск. 2020. № 4(38). – С. 40-53.

7. Кульнев В.В. Геоэкологические модели депонирующих сред территории горнодобывающих предприятий: автореф. дисс.канд. геогр. наук. Воронеж. Военный авиационный инженерный университет. 20 с.

8. Насонов А.Н., Кульнев В.В., Цветков И.В. и др. Применение фрактального анализа при лихеноиндикации техногенного воздействия от линейного источника загрязнения атмосферы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. Саратов. 2019а. Т. 19, № 4. – С. 233-240. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-4-233-240>.

9. Насонов А.Н., Кульнев В.В., Графкина М.В. Моделирование динамики и прогноза экологических состояний воздушной среды селитебных территорий // Экология и развитие общества. Санкт-Петербург, 2019б. № 2(29). – С. 56-63.

10. Никифоров Д.В., Межова Л.А., Кульнев В.В. и др. Здоровье населения радоноопасных территорий // Экология человека. Архангельск. 2019. № 1. С. 40-50. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-1-40-50>.

11. Экогеосистемы горнодобывающего класса Северо-Запада Восточно-Европейской платформы (Мурманская область) / А.Н. Кизеев, В.К. Жиров, С.Ф. Ушамова [и др.] // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика): Коллективная монография. Под ред. проф. И.И. Косиновой – Воронеж: Воронежская областная типография - Издательство им. Е. А. Болховитинова, 2015. – С. 282-326.

**Трубицын Д. С.,
Устименко Ю. А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования "Воронежский государственный университет",
кафедра гидрогеологии, инженерной и экологической геологии, г. Воронеж, Россия
E-mail: di_trubitsyn@mail.ru*

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕЛИОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время по территории Воронежской области накопились данные по водно-гелиевому опробованию подземных вод различных водоносных подразделений.

Результаты водно-гелиевого опробования позволяют получить информацию о взаимосвязи водоносных горизонтов, а также выявлять зоны проницаемых разрывных нарушений, уточнять природу гидрогеохимических аномалий.

Цель настоящей работы: изучение закономерностей распределения гелия в условиях бассейнов пластового типа на территории Воронежской области, выявление основных факторов, влияющих на формирование гелиевых аномалий.

Гелиометрические исследования в подземных водах на территории Воронежской области проводилось в процессе гидрогеологических съемочных работ масштаба 1:200 000 и при выявлении участков перспективных для постановки геологоразведочных работ по изучению природного водорода (2025 г).

Гелиометрические исследования заключались в определении концентрации гелия в эксплуатационных скважинах. Всего было опробовано 170 скважин.

Из открытых источников известно приповерхностное поле гелия формируется в результате взаимодействия различных процессов, включающих одновременно факторы концентрации и рассеивания инертных газов.

Результирующий их поток мигрирует с фазой-носителем (в большинстве случаев подземными водами) под действием избыточного давления флюида к поверхности, где происходит формирование гелиевых ореолов в зоне активного водо-газообмена вплоть до окончательного рассеяния на поверхности [1].

На территории Воронежской области, в силу геолого-структурных особенностей, развиты зоны свободного и затрудненного водообмена.

В зоне активного водообмена находятся водоносные горизонты четвертичного, неогенового, мелового и частично верхнедевонского возраста. К данной зоне отнесены водоносные горизонты, содержащие подземные воды атмосферного генезиса, преимущественно гидрокарбонатного или сульфатно-гидрокарбонатно кальциевого состава, с минерализацией не более 1–3 г/дм³.

К зоне затрудненного водообмена отнесены гидрогеологические подразделения архей-протерозойских и среднедевонских образований залегающими под выдержанными водоупорными горизонтами.

Водоупорные горизонты представлены: муллинским горизонтом живетского яруса среднего девона, чаплыгинским водоупорным горизонтом франского яруса верхнего девона и радаевским горизонтом визейского яруса нижнего карбона.

Наиболее массово опробованы водозаборные скважины, эксплуатирующие основные горизонты централизованного водоснабжения (рис. 1). Как раз так эти горизонты на территории Воронежской области определяют ресурсный потенциал пресных подземных вод [2]. Это первые от поверхности водоносные подразделения мезо-кайнозойского возраста, и залегающие ниже водоносные подразделения верхнедевонского возраста.

Фоновое содержание He в подземных водах в пределах Воронежской области – около 5×10^{-6} % об или 5×10^{-5} мл/л [3].

По результатам опробования выделяются площади с пониженной гелиеносностью ($5-10 \times 10^{-6}$ % об) - нормальным газовым фактором, соответствующим атмосферному, характеризуют области нисходящего питания подземных вод. Это наиболее характерно для первых от поверхности водоносных подразделений неогенового или мелового возраста (рис. 2). В настоящее время такие площади соответствуют относительно стабильным тектоническим блокам.

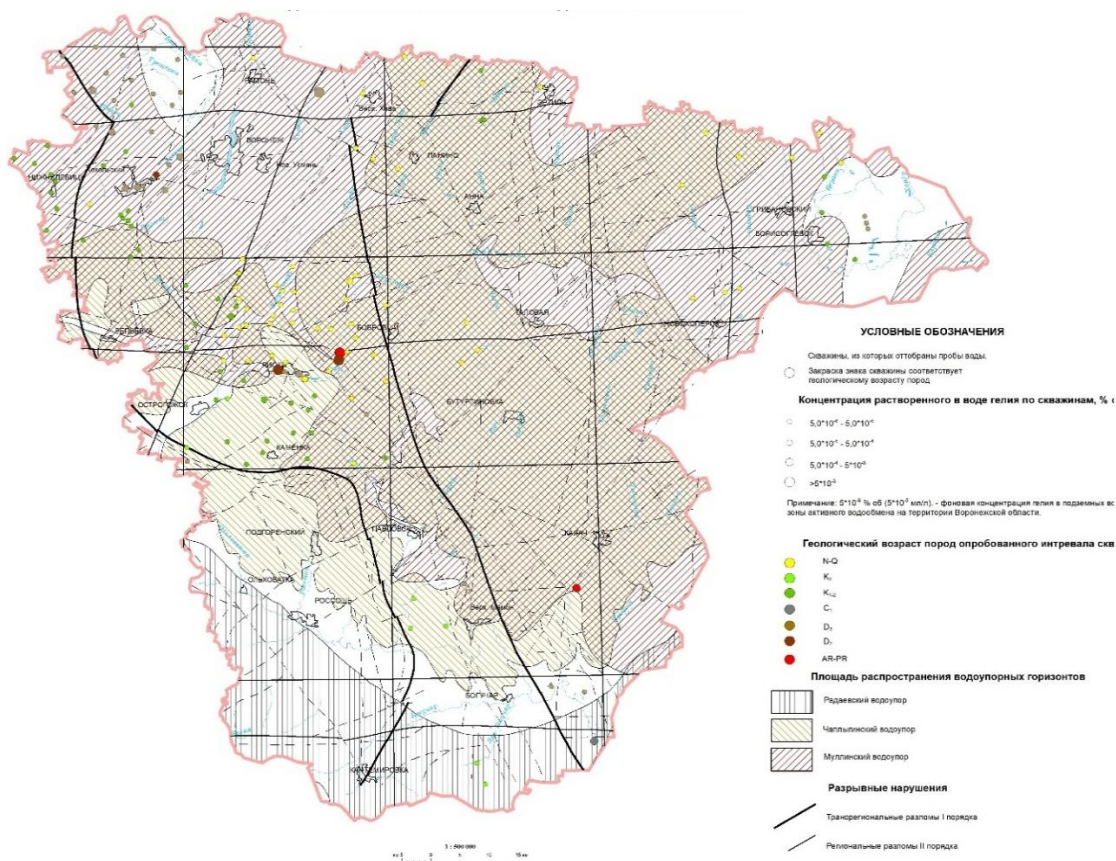


Рис. 1. Карта фактического материала водно-гелиевого опробования водозаборных скважин

Участки повышенной гелиеносности $(20-80) \times 10^{-6}$ % об в первых от поверхности водоносных горизонтах подчеркивают области восходящей фильтрации по тектонически ослабленным зонам, как правило совпадающим с направлениями эрозионной сети.

В зоне распространения межпластовых напорных водоносных горизонтов гелиометрические исследования носили точечный характер, ввиду отсутствия широкой сети водозаборных скважин.

Размах выявленных значений концентрации гелия в водоносных горизонтах девонского возраста составил $(1,4-9100) \times 10^{-6}$ % об.

В водоносной зоне трещиноватости архей-протерозойских образований концентрация гелия изменяется $(3940-43600) \times 10^{-6}$ % об.

Такая значительная разница в концентрации растворимого в воде гелия определяется геолого-гидрогеологическими условиями участков опробования. По мере затруднения связи водоносных горизонтов с атмосферой, т.е. увеличением мощности перекрывающих слабопроницаемых образований, возрастает концентрация в подземных водах гелия.

Перекрывающие водоупоры способствуют замедлению восходящей миграции гелия в верхние водоносные горизонты и его накоплению в водовмещающих отложениях под водоупорными образованиями [1].

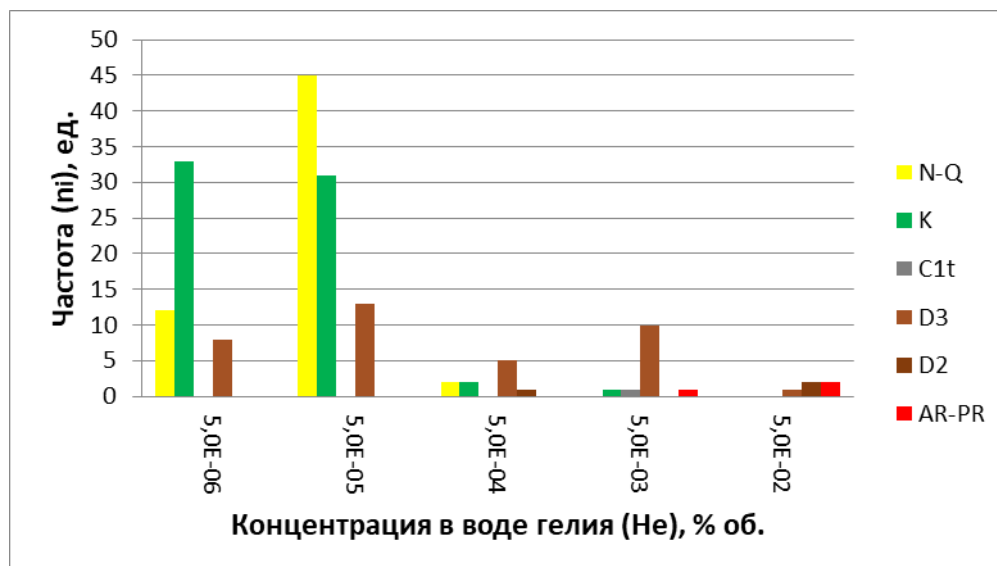


Рис. 2. Гистограмма частотного распределения концентрации растворенного в воде гелия по разновозрастным водоносным подразделениям

Так же были проанализированы закономерности изменения концентрации гелия в воде в зависимости от содержания отдельных компонентов химического состава воды.

Значимые зависимости прослежены только по содержанию в воде сульфатов (рис. 3) и Na+K (рис. 4).

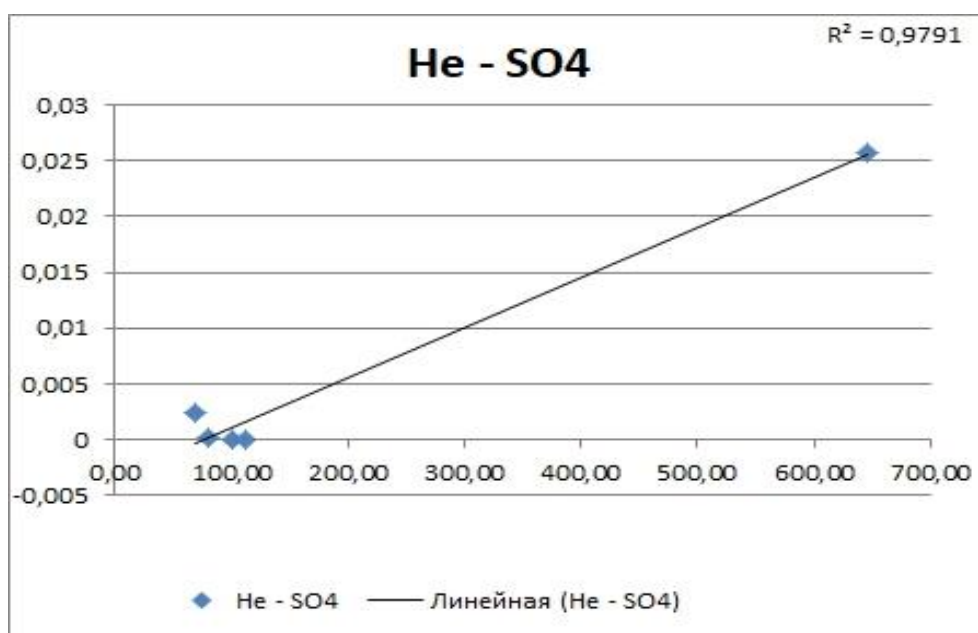


Рис. 3. График зависимости концентрации в воде гелия от значений концентрации сульфатов

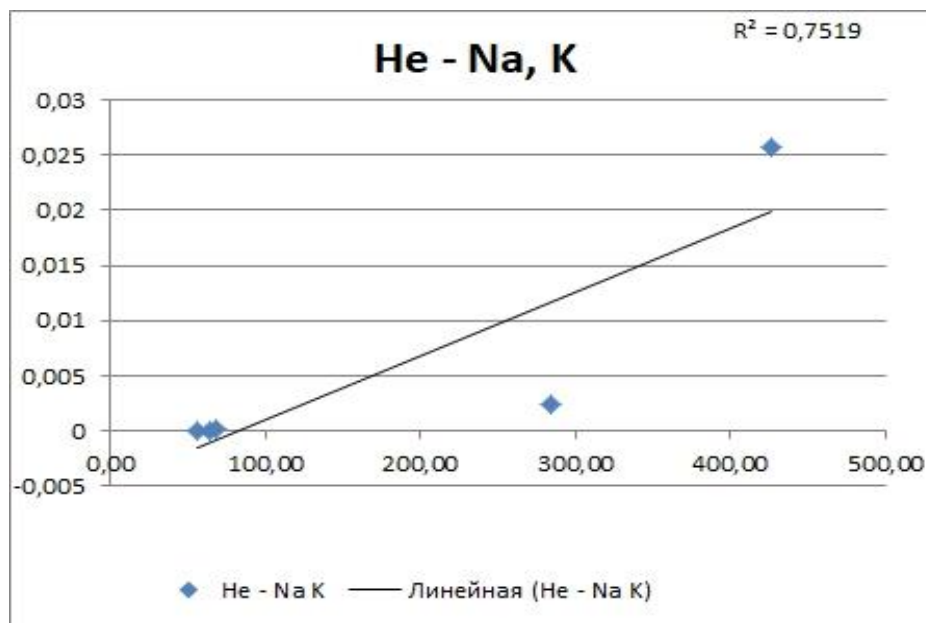


Рис. 4. График зависимости концентрации в воде гелия от значений концентрации натрия и калия

Это может свидетельствовать об увеличении концентрации в воде гелия на участках восходящей фильтрации подземных вод из зоны затрудненного водообмена, где подземные воды обогащены сульфатами и натрием.

В целом, результаты выполненных исследований показали:

1) Зависимости значений концентрации в воде гелия и глубины скважины явно не прослеживается. Т.е. накопление гелия в водоносных горизонтах определяется не просто глубиной залегания водоносного горизонта, а особенностями геологического строения разреза, а именно мощности и количества перекрывающих водоупорных горизонтов.

2) Накопление гелия в подземных водах возможно в двух случаях:

- В нижних гидродинамических зонах гидрогеологического разреза, где водоносные горизонты изолированы от поверхности несколькими регионально выдержанными водоупорами.

- Повышение концентрации гелия в приповерхностных водоносных подразделениях происходит за счет выноса гелия восходящими потоками подземных вод по зонам разломов и разрывных нарушений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Еремеев А.Н., Виндюков П.М., Яницкий И.Н. Изучение концентраций гелия в артезианских водах // Водные ресурсы. 1974. № 5. С. 158-169.

2. Трубицын Д.С., Дешевых Г.Ю. О перспективных площадях для выявления месторождений питьевых подземных вод на территории

Воронежской области / Д.С. Трубицын, Г.Ю. Дешевых // Гидрогеологические, инженерно-геологические и эколого-геологические исследования: материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Воронеж, 27-28 сентября 2024 г.) / под ред. Ю.В. Акур. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2025.– С. 88-92. (РИНЦ).

З. Яницкий И. Н. Гелиевая съемка. - Москва: Недра, 1979. -96 с.

**Мокроусова В. О.,
Корабельников Н. А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Воронежский государственный университет", г. Воронеж, Россия,
E-mail: mok.lera.2001@gmail.com*

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В ПОДПОЧВЕННОМ ВОЗДУХЕ

Одним из направлений альтернативной энергетики является природный водород. Этот газ – важный ресурс, который в настоящее время активно используется во многих отраслях промышленности. В перспективе ожидается формирование и рост потребности в водороде и водородосодержащем топливе (таком, как аммиак и метанол) для нужд энергетики и транспорта. Опыт стран Африки демонстрирует, что природный водород может стать ключевым элементом энергетического перехода в развивающихся странах, сочетая экологическую чистоту, экономическую эффективность и возможность создания локальных энергосистем. В этой связи поиск природного водорода – актуальная задача для экономики [1].

Попытаемся разобраться, как метеорологические факторы (такие как температура, давление, скорость ветра) влияют на содержание водорода в подпочвенном воздухе.

Подобного рода исследования были проведены и представлены в отчете «Выявление участков, перспективных для постановки работ по геологическому изучению природного водорода в промышленных объемах на территории воронежской области» [6].

Молекулы газообразного водорода, благодаря своему маленькому радиусу, способны проникать через резину, стекло и даже металлы, поэтому в силу своих термодинамических свойств водород при достижении поверхности земли рассеивается в атмосфере до кларковых содержаний ($5,3 \cdot 10^{-5}$ об.%) [5]. Рассмотрим физический закон, описывающий изотермические процессы в газе. Согласно закону Бойля – Мариотта, при постоянной температуре T объём V данной массы газа

обратно пропорционален его давлению p : $pV = \text{const}$. Закон Бойля — Мариотта — это фундаментальное соотношение, которое может объяснить: почему и как изменения атмосферного давления приводят к перераспределению газов (включая водород) в пористой среде [3]. Шпуровое опробование необходимо, потому что закон Бойля-Мариотта, заставляющий водород мигрировать к поверхности, делает невозможным его обнаружение в бесконечном объёме атмосферы, но позволяет эффективно накапливать и измерять газ в конечном замкнутом объёме шпура.

Исходя из этого, газовое опробование проводилось в шпурах. Определение содержания водорода в подпочвенном воздухе в гипотетических местах эманаций водорода — основная цель шпурового газового опробования.

Газовая съёмка — это геохимический метод исследования территории, основанный на изучении состава природных газов, мигрирующих сквозь толщи горных пород до земной поверхности. Проводится с целью поисков нефтяных и газовых месторождений, рудных полезных ископаемых (зон окисления сульфидных руд и глубокозалегающих рудных тел), минеральных вод, а также для геологического картирования. По характеру решаемых задач различают рекогносцировочную газовую съёмку, заключающуюся в обнаружении участков, перспективных для поисков месторождений и крупных тектонических нарушений, и детальную, проводимую для уточнения границ аномальных зон и их природы, а также оценки целесообразности проведения в пределах этих зон разведочного бурения [2].

За основу газового шпурового опробования взята методика, применяемая в газохимических исследованиях при проведении инженерно-экологических исследованиях [4].

Газовое шпуровое опробование проводилось в скважинах глубиной 1,0 м, так чтобы забой скважин был однозначно ниже подошвы почвенно-растительного слоя. Скважины проходились шнеком диаметром 150 мм при помощи переносной буровой установки (мотобур). Сразу после бурения приустьевое пространство у скважины разравнивалось и накрывалось крышкой со встроенным в нее шлангами зондов (рис. 1). Глубина установки зонда под крышкой на всех пунктах измерения устанавливалась одинаковая — 0,2 м.

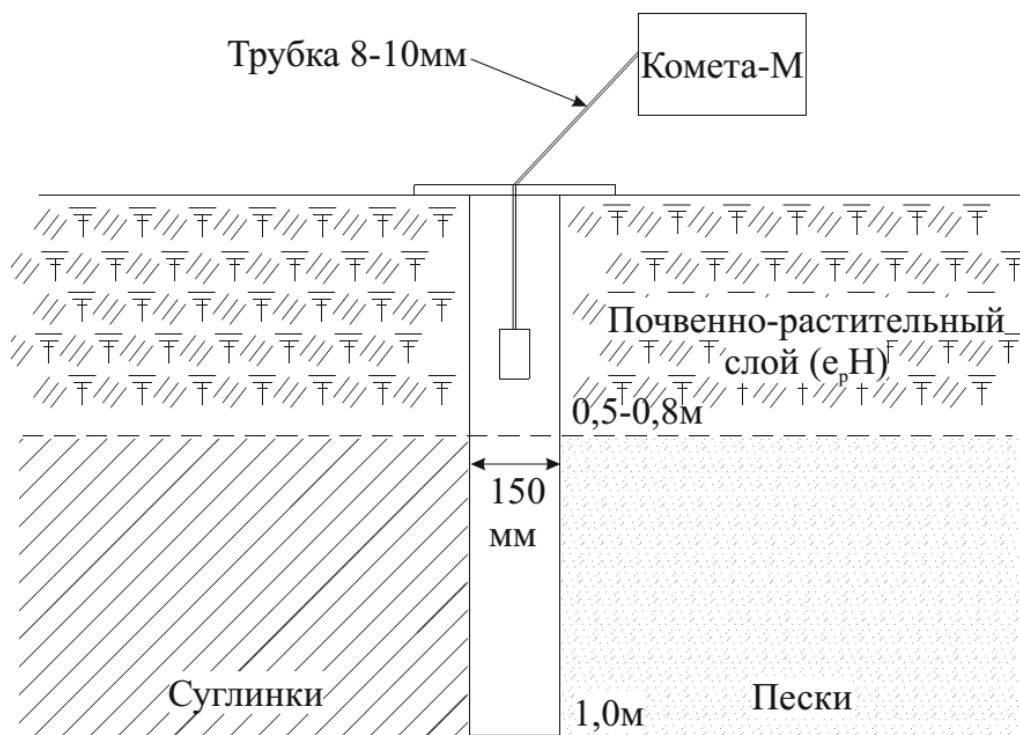


Рис. 1. Схема шпурового газового опробования

Измерение содержания газов в подпочвенном воздухе проводилось газоанализаторами ИГС-98 модификации «Комета-М» исполнение 005, ФГИМ.413415.006РЭ с принудительным пробоотбором, производства АО «НПО «Поиск».

Измерения в каждой скважине проводилось двумя приборами (рис. 2).



Рис. 2. Измерение содержания газов в подпочвенном воздухе

Рядом со скважинами газового опробования одновременно проведены наблюдения за основными метеорологическими параметрами: температурой воздуха, атмосферным давлением, скоростью ветра.

Основные метеорологические параметры измерялись профессиональной метеостанцией (Professional weather station), модель – FJ3390A (рис. 3).



Рис. 3. Метеостанция FJ3390A

Для установления влияния основных климатических параметров на содержание водорода в подпочвенном воздухе был проведен корреляционный анализ средних значений этих содержаний с центрами интервалов каждого из параметра. Для этого диапазон значений метеофактора делился на равные промежутки, для каждого промежутка определялось среднее значение содержания водорода, и по коэффициенту детерминации определялась корреляционная связь. Работа проведена по усреднённым значениям с целью – выделить общие закономерности и продемонстрировать их на графиках.

Для всех проанализированных климатических параметров выявлены обратные зависимости [6].

Зафиксированная скорость ветра во время шпурового опробования изменялась от 0,0 м/с до 7.8 м/с. Содержание водорода в подпочвенном воздухе имеет устойчивый тренд к уменьшению с увеличением скорости ветра. Коэффициент детерминации (R^2) составляет 0,808, что указывает на высокую тесноту связи по шкале Чеддока (рис. 4.).

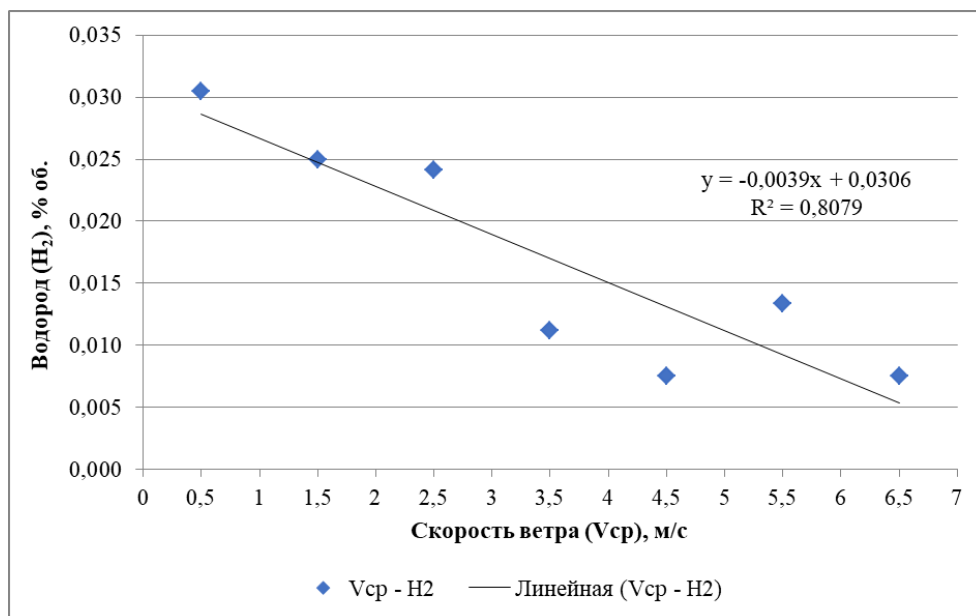


Рис. 4. График зависимости средних значений содержания водорода (H_2) в подпочвенном воздухе от скорости ветра (V)

Температура воздуха во время шпурового газового опробования изменялась в широких пределах, от 16,6 °С до 40,9 °С. Выявленная зависимость между подпочвенным водородом и температурой воздуха менее заметна, коэффициент детерминации – 0,549, и характеризуется как заметная (рис. 5).

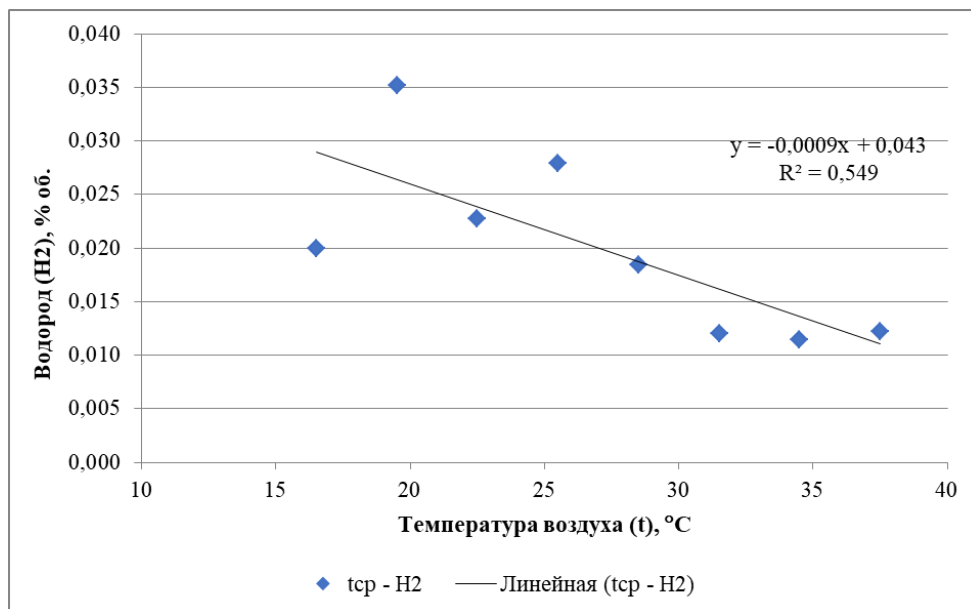


Рис. 5. График зависимости средних значений содержания водорода (H_2) в подпочвенном воздухе от температуры воздуха (t)

Диапазон изменения атмосферного давления составил: 1003,1 гПа (гектопаскалей) – 1022,4 гПа (752,3–767 мм рт. ст.). Теснота связи значений содержания подпочвенного водорода и атмосферного давления

наиболее заметная, коэффициент детерминации линейной зависимости составляет – 0,889 (рис. 6).

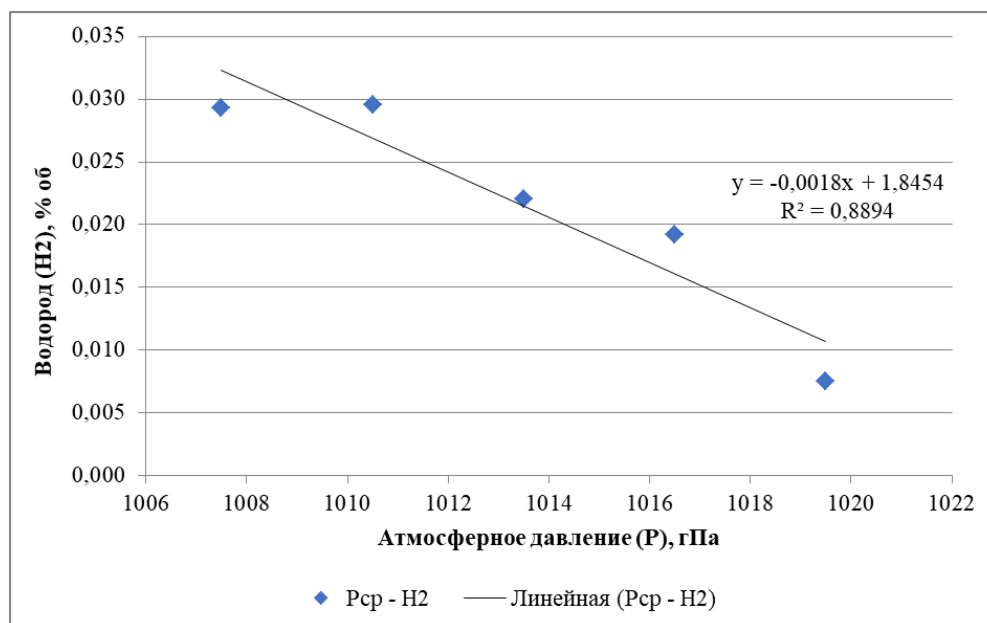


Рис. 6. График зависимости средних значений содержания водорода (H₂) в подпочвенном воздухе от атмосферного давления (P)

Влияние текущих метеорологических параметров на содержание подпочвенного водорода в шпурах оказалось существенное, поэтому наблюдаемые значения были приведены к одинаковым (базовым) метеорологическим условиям.

Для этого был проведен многофакторный анализ методом множественной регрессии [6].

Расчет множественной регрессии проведен с помощью пакета «Анализ данных» табличного процессора Excel. Зависимой переменной являлось содержание водорода (YH₂) в подпочвенном воздухе, независимыми переменными приняты показатели (рис. 7): температура воздуха (t), атмосферное давление (P), скорость ветра (V).

В результате получено уравнение множественной регрессии:

$$Y_{H_2} = 0,95 - 0,0007(t) - 0,00089(P) - 0,0033(V)$$

Используя полученное уравнение, результаты определения подпочвенного водорода были приведены к одинаковым (базовым) метеорологическим параметрам, за которые приняты:

- температура воздуха (t) - 20 °С;
- атмосферное давление - 1000 гПа (гектопаскаль);
- скорость ветра (V) - 0,5 м/с.

Регрессионная статистика					
Множественный R	0,42100131				
R-квадрат	0,177242103				
Нормированный R-квад	0,157958715				
Стандартная ошибка	0,020522584				
Наблюдения	132				
Дисперсионный анализ					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	3	0,011613655	0,00387122	9,19143986	1,49461E-05
Остаток	128	0,053910588	0,00042118		
Итого	131	0,065524242			
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Станд. ошибка</i>	<i>t-ст-ка</i>	<i>P-Знач.</i>	
Y-пересечение	0,950528646	0,577118881	1,647024	0,10200603	
темпера-тура, ОС	-0,000707006	0,000294258	-2,40267362	0,01771095	
давление, Па	-0,000890693	0,000571312	-1,55903213	0,12145787	
скорость ветра, м/с	-0,003286598	0,001017548	-3,22992023	0,00157377	

Рис. 7. Результаты многофакторного регрессионного анализа

Для перечисленных базовых параметров расчетное значение подпочвенного водорода $Y_{H_2}(б)$ составило 0,044 об. %.

Для каждого частного значения подпочвенного водорода была рассчитана поправка, которая определялась как разница между расчётными значениями $Y_{H_2}(i)$ при наблюдаемых метеоданных (фактические значения температуры, давления, скорости ветра) и $Y_{H_2}(б)$ для базовых параметров (усредненные значения температуры, давления, скорости ветра). Поправка в зависимости от ее знака либо прибавлялась, либо вычиталась из наблюдаемых значений. Так как базовые параметры метеоусловий ближе к минимальным, то приведенные значения, как правило, больше наблюдаемых. Статистические характеристики распределения наблюдаемых и приведенных значений подпочвенного водорода приведены в таблице 1. Графики плотности распределения вероятности содержания водорода в подпочвенном воздухе (H_2) (наблюдаемых и приведенных) представлены на рисунке 8.

Согласно эмпирическому правилу математической статистики для нормального распределения в пределах двух стандартных отклонений от среднего находится 95,44 % выборки. То есть, мы принимаем, что основной объем значений анализируемого параметра почти в 95% будет находиться в диапазоне $\pm 2S$ от среднего.

За аномальные значения содержания водорода в подпочвенном воздухе (H_2) нами приняты те, которые превышают среднее более чем на два стандартных отклонений, то есть процент показателей, которые превышают порог «среднее + 2S» будет составлять 2,3 %.

Для приведенных значений содержания водорода в подпочвенном воздухе (H_2) среднее составило – 0,044 об. %, значение двух стандартных

отклонений ($2S$) – 0,04 об. %, то есть значения, превышающие 0,084 об. % принимаются нами как аномальные.

Таблица 1

Статистические характеристики распределения содержания водорода в почвенном воздухе

Статистические характеристики	Содержание водорода (H_2) в почвенном воздухе, об. %	
	Наблюдаемые	Приведенные
Среднее	0,023	0,044
Стандартная ошибка	0,0019	0,0018
Медиана	0,02	0,041
Мода	0,01	0,043
Стандартное отклонение	0,0223	0,020
Дисперсия выборки	0,0005	0,000
Экссесс	1,0184	1,196
Асимметричность	1,2758	1,186
Интервал	0,09	0,092
Минимум	0	0,015
Максимум	0,09	0,106
Счет	133	133
Уровень надежности (95,0%)	0,0038	0,0035

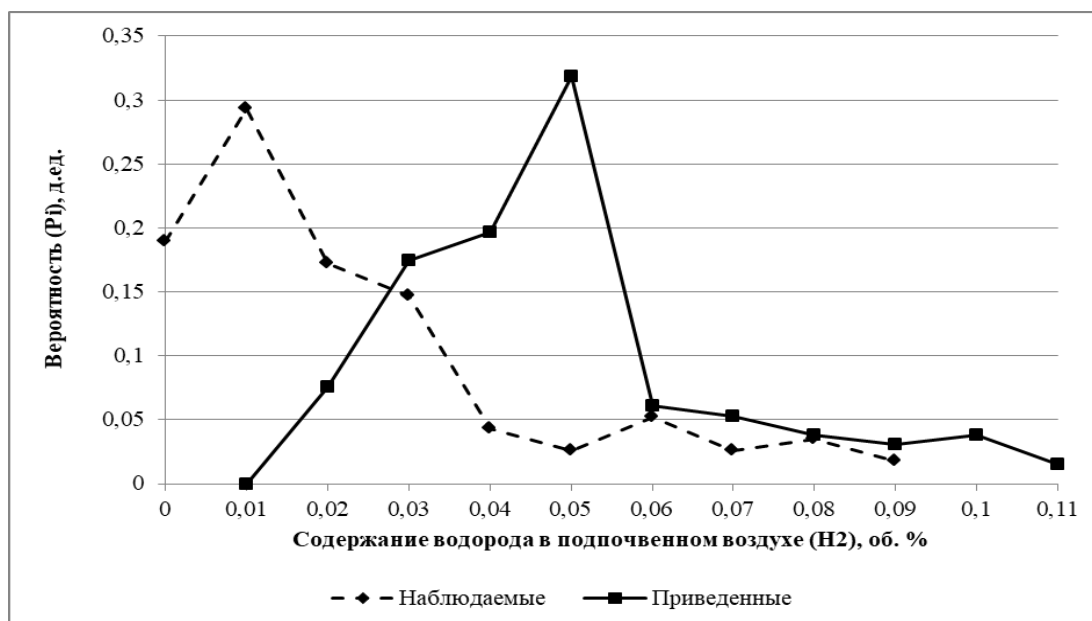


Рис. 8. Графики плотности распределения вероятности содержания водорода в почвенном воздухе (H_2), наблюдаемые и приведенные

В заключение следует отметить, что выявлены обратные зависимости содержания водорода от климатических факторов: наиболее тесная связь с атмосферным давлением ($R^2=0,889$); сильная зависимость от скорости ветра ($R^2=0,808$); заметная связь с температурой воздуха ($R^2=0,549$). С помощью множественной регрессии получены приведённые значения содержания водорода, нормированные к базовым метеороусловиям ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$,

1000 гПа, 0,5 м/с). Среднее приведённое содержание – 0,044 об. %. Аномальными считаются значения выше 0,084 об. % (среднее + 2 S).

Такие концентрации зафиксированы в 9 точках, расположенных в пределах выделенных участков в разных геоморфологических условиях.

Литература

1. Бессель В.В., Карасевич В. А, Жуков В. А. «Перспективы добычи и применения природного водорода в России. Оценка мирового опыта» «Neftegaz.RU» №7, Июль 2025.

[<https://magazine.neftegaz.ru/articles/alternativnaya-energetika/893287-perspektivy-dobychi-i-primeneniya-prirodnogo-vodoroda-v-rossii-otsenka-mirovogo-opyta/?ysclid=mhu8cj456169526704>]

2. Газовая съемка при поисках руд и геологическом картировании / Сост. А. И. Фридман. М., 1975

3. Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия». <https://bigenc.ru/c/zakon-boilia-mariotta-c2bec2?ysclid=mkfeq7jpmm481989461>

4. СП 502.1325800.2021. Свод правил "Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ": утв. Приказом Минстроя России от 16.07.2021 № 475/пр. – Введ. 2022-03-17. – М., 2021.

5. Чертко, Н. К. Геохимия и экология химических элементов: справочное пособие / Н. К. Чертко, Э. Н. Чертко. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.

6. Крайнов А. В. Отчет о результатах работ по объекту: выявление участков, перспективных для постановки работ по геологическому изучению природного водорода в промышленных объемах на территории Воронежской области/ А. В. Крайнов и др. – Воронеж, 2025.

**Дешевых Г.Ю.,
Устименко Ю.А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Воронежский государственный университет",
кафедра гидрогеологии, инженерной и экологической геологии, г. Воронеж, Россия
E-mail: lina8686@mail.ru*

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 30 ЛЕТ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЛИСТА М-37-ХVII (ПАВЛОВСК))

Ресурсный потенциал подземных вод является основополагающим компонентом, определяющим обеспеченность оцениваемых запасов

подземных вод продуктивных водоносных пластов. Величина ресурсного потенциала, выраженная модулем прогнозных ресурсов, входит в расчет обеспеченности оценённых запасов подземных вод.

В свою очередь ресурсный потенциал подземных вод определяется климатическими условиями рассматриваемой территории.

Анализ факторов, определяющих климатические условия и их изменения за определенный промежуток времени, являются основой для коррекции условий формирования ресурсного потенциала подземных вод и, как следствие, коррекции всей системы водоснабжения населения.

Ресурсный потенциал подземных вод территории Воронежской области был оценен в 1995 году по результатам работ «Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Воронежская области». При проведении данных работ использовались основные показатели климатических условий, сформированные за предшествующих 30-ти летний период.

За последние десятилетия (1995 – 2025 гг.) климатические условия территории Воронежской области и её юго-восточной части претерпели изменения, которые выражаются в вариациях температуры, осадков и гидрологического режима. Данные изменения нашли свое отражение при составлении климатического паспорта воронежской области.

Особый интерес изменения климатических факторов имеют в области питания водоносных горизонтов артезианских бассейнов подземных вод. К такой области может быть отнесена территории юго-восточной части Воронежской области приуроченная к зоне сочленения Днепровско-Донецкого и Приволжско-Хоперского артезианских бассейнов подземных вод.

Оценка изменения климатических факторов на данной территории выполнена по направлению изменений температуры, осадков, и гидрологического режима по наиболее характерных водным артериям на территории листа М-37-XVII (Павловск) (створ рек Подгорная (Толучеевка) (г. Калач), Россось (пгт. Подгоренский) и Дон (г. Павловск)). Выбор территории листа обусловлен тем, что в 2024 году завершены работы по гидрогеологическому доизучению масштаба 1:200 000 с формированием комплекта карт, отражающих гидрогеологические условия данной территории.

Площадь листа М-37-XVII (Павловск) расположена в средней части Воронежской области и включает участки рек Дон, Битюг, Осередь, Толучеевка и их притоки – реки Мамоновка, Козынка, Криуша, Данило, Гаврило, Подгорная.

Данная территория находится в зоне недостаточного увлажнения. Годовых осадков выпадает сравнительно мало, большая часть их испаряется. По показателям местных ресурсов, включающих

поверхностные и подземные воды зоны активного водообмена, область является одной из наименее водообеспеченных не только в Центрально-Чернозёмном экономическом районе, но и в России. Кроме этого, водосборы рек Воронежской области являются очень чувствительными к изменениям климата и к техногенному влиянию. Таким образом, проблема водных ресурсов является для данной территории одной из самых актуальных.

Целью данной работы являлось оценка направленности (тенденции) изменений климатических условий рассматриваемой территории. Для этого проанализированы изменения температуры, осадков и стока рек Толучеевка и Россошь, по маркерным месяцам половодья, зимний и летне-осенней межени.

Для характеристики температуры холодного периода принят январь по трем метеопунктам гг. Богучар, Павловск и Калач. Среднемесячная температура января за период наблюдений характеризуется одинаправленным многолетним ростом. Аналогичную картину мы наблюдаем по самому теплому месяцу - августу.

Кроме того, проанализированы многолетние изменения среднемесячной температуры паводкового месяца – апреля и ноября. Среднемесячные температуры апреля и ноября за период наблюдений также характеризуются одинаправленным многолетним ростом. За тридцать лет наблюдается увеличение температуры на 1,5-2 градуса в холодные месяцы, и на 3,0-4,5 градуса в теплые месяцы (рис.1).

Кроме температуры, были проанализированы многолетние изменения суммы осадков по трем метеопунктам гг. Богучар, Павловск и Калач в самые холодный и жаркий месяцы (январь и август), а также апрель и ноябрь, месяцы в которые отмечалось половодье.

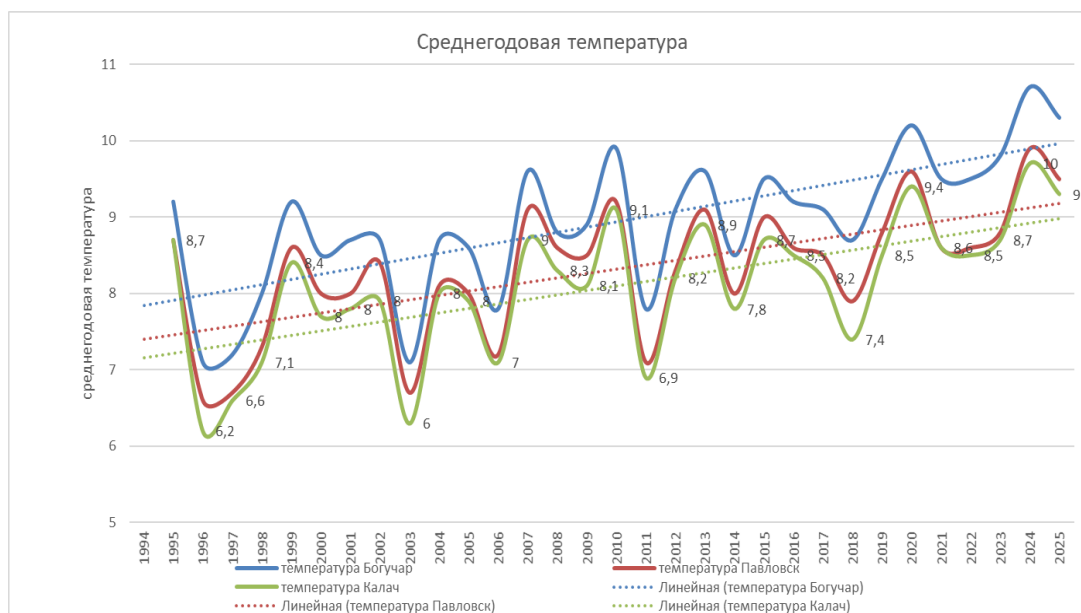


Рис. 1. Среднегодовая температура за последние 30 лет.

При рассмотрении отдельно каждого месяца мы видим, что за период наблюдений изменение количества осадков характеризуется однонаправленным многолетним небольшим ростом по холодным месяцам и в апреле, и обратную картину мы наблюдаем по самому теплomu месяцу – августу, летом идет уменьшение количества осадков. Однако при рассмотрении годового количества осадков, мы видим стабильное распределение осадков по году, без существенных колебаний по всем трем метеопунктам (рис. 2).

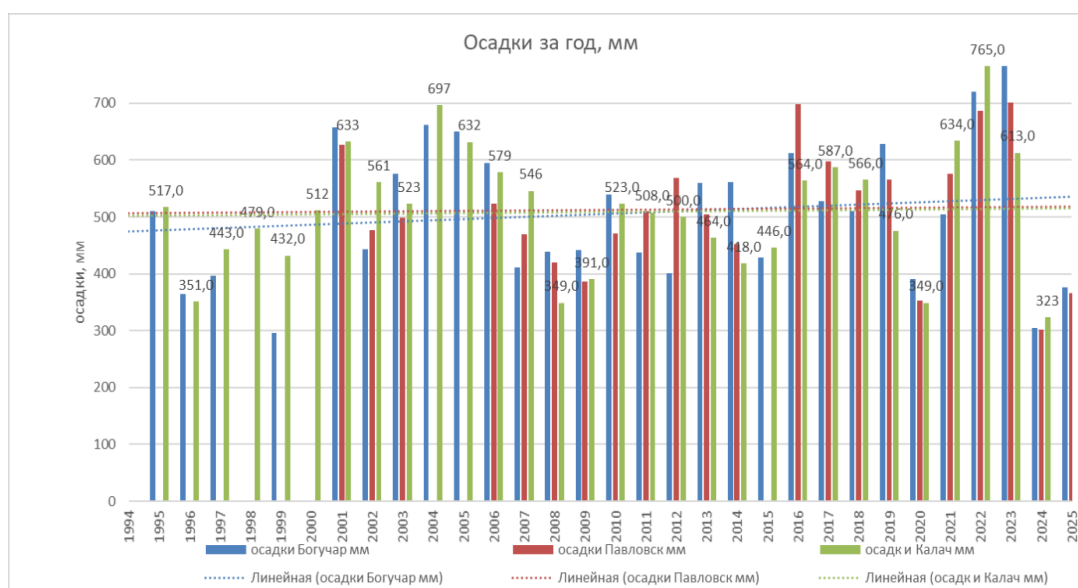


Рис. 2. Годовое количество осадков за последние 30 лет.

Графики гидрологического режима показывают, что в зимний период отмечается уменьшение стока рек (рис. 3), а пик половодья в апреле наблюдается с 6 летней периодичностью (рис. 4).



Рис. 3. Средний расход в зимнюю и летне-осеннюю межень

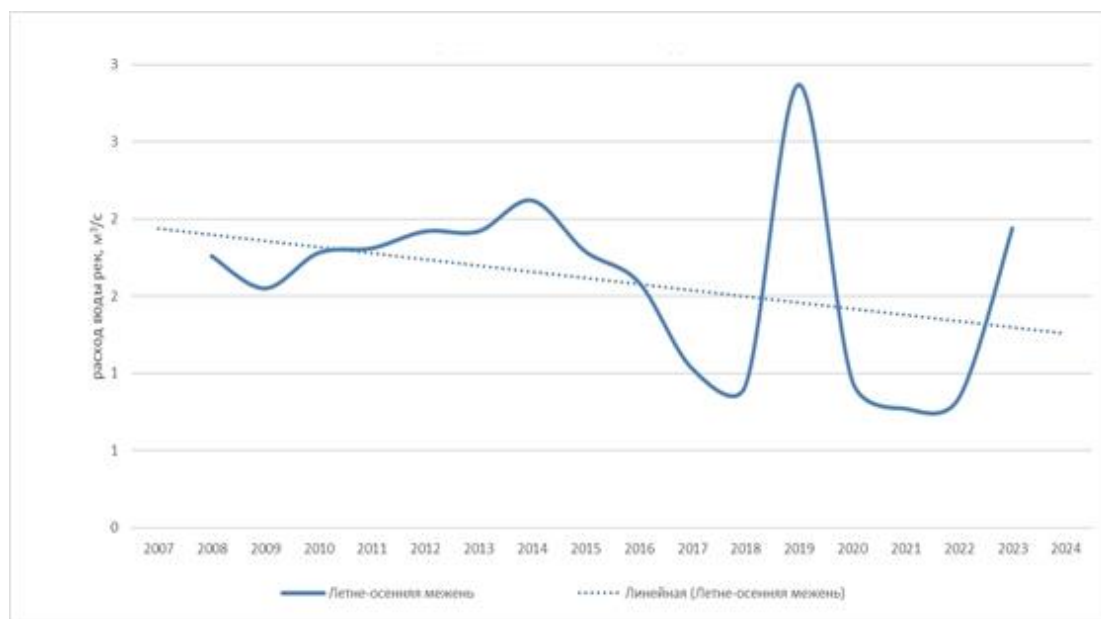


Рис. 4. Средний расход в весеннее половодье

Изменение температурного режима и величины осадков по периодам года обуславливает изменение в системе питания подземных вод в многолетнем разрезе. В частности, увеличивается доля их питания в системе природного водооборота.

В целом, анализ динамики климатических факторов формирования ресурсного потенциала подземных вод, в многолетнем разрезе, показывает тенденцию на его небольшое увеличение, что выражается в возрастании величины питания и разгрузки подземных вод, отражающих увеличение их естественные ресурсов.

Литература:

1. Бухтояров И.С. и др. Отчет Павловской геолого-съёмочной партии о комплексной геолого-гидрогеологической съёмке масштаба 1:200 000 листа М-37-ХVII, проведенной в 1959 году (Воронежская область). Т.1-5., Главгеология РСФСР, ГУЦР, Москва, 1960.
2. Егоров В.А. и др. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Воронежская области. Этап II, Воронежгеология, Воронеж, 1999.
3. Паспорт климатической безопасности Воронежской области. Воронеж, 2025.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ, СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ И КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РУДНИКА «МАЯК» ТАЛНАХСКОГО РУДНОГО УЗЛА

Рудник «Маяк» располагается на южном фланге Талнахского месторождения сульфидных медно-никелевых руд, в 25 км к северу от г. Норильск. Район входит в состав Предтаймырской медно-никелевой металлогенической зоны, в пределах которой широко распространено сульфидное медно-никелевое оруденение, связанное с дифференцированными интрузиями базит-гипербазитового состава и образующее значительные по концентрации рудные узлы - Талнахский, Норильский и Имангдинский. Талнахский рудный узел приурочен к крупному дифференцированному интрузиву Норильского типа. Южные оконечности рудоносного Талнахского интрузива, относящиеся к шахтному полю рудника «Маяк», выходят под наносы, а к северу полого погружается на глубину до 600 м. Ширина интрузива в пределах поля рудника достигает 800 м [2].

В геологическом строении стратифицированных подразделений района принимают участие морские сульфатно-карбонатные отложения силура-девона, угленосные лимно-параллические образования тунгусской серии карбона-перми и эффузивы туфолавоваы толщи пермо-триаса, а также комплекс континентальных верхнеплейстоценовых ледниковых отложений четвертичной системы. Общая мощность изученного разреза превышает 1000 м. Породы залегают моноклинально с падением на восток под углом 5-10 градусов [2].

Геоморфологически район делится на восточную (гористую) и западную (равнинную) части, сочленение которых ступенчатое, с перепадом высот до 500-600 м. Объект исследований размещается у подножья юго-западной оконечности Хараелахского плато, являющегося частью Путоранского нагорья.

Климат района полярный. Характерна продолжительная зима с устойчивыми морозами от минус 30 до минус 50 °С. Среднегодовая температура составляет минус 9,5 °С, минимальная среднемесячная температура в январе минус 30 °С, максимальная в июле плюс 20 °С. Среднегодовое количество осадков 680 мм. Период устойчивого снежного покрова достигает 248 дней. Преобладающее направление ветров зимой восточное и юго-восточное со средней скоростью около 7 м/с, достигает 40 м/с [2].

Район месторождения приурочен к зоне распространения многолетней мерзлоты. Мощность толщи ММП в пределах района подчиняется высотной зональности и составляет 15-50 м в равнинной его части, 50-100 м у подножий склонов, 100-150 м в средней части склонов и 150-400 м на поверхности плато. Из криогенных процессов наиболее широко распространены: пучение (сезонное и многолетнее); термокарст; наледеобразование, морозобойное растрескивание. На интенсивный термокарстовый процесс указывает обилие мелких озер, развитых на площади моренных, озерно-ледниковых равнин и аллювиальных террас. Характер распространения толщи ММП в рамках шахтного поля существенно отличается: в пределах поймы и речных террас реки Талнах ММП прерывистого, островного типа, также, как и под крупными реками и озерами, формирующими круглогодичные гидрогенные талики. В пределах восточной части горного отвода рудника ММП имеют сплошное распространение.

Ближайшей водной артерией является р.Талнах – правый приток р.Норильская. В пределах осевой части ее русла развит сквозной талик, приуроченный к древней переуглубленной долине реки.

Тектоническая нарушенность шахтного поля рудника «Маяк» обусловлена приуроченностью к зоне Норильско-Хараелахского разлома. Ширина зоны разлома с опережающими его тектоническими нарушениями и субпараллельными сбросами и взбросами достигает 1,5 - 2,0 км. В этой зоне развиты мощные толщи раздробленных пород средней и сильной трещиноватости. Перекрывающие и вмещающие рудоносный интрузив породы разбиты тектоническими нарушениями разного порядка на структурные блоки разнообразной конфигурации и размеров.

Характер и степень трещиноватости оказывает определяющее влияние на основные инженерно-геологические характеристики: физико-механические свойства горных пород, степень неоднородности и анизотропности, величину естественных напряжений, параметры теплового поля и температурный режим.

Дополнительным осложняющим фактором выступают разрывные нарушения и сопряженные с ними зоны динамического воздействия, характеризующиеся повышенной трещиноватостью, что в свою очередь способствует развитию сквозных таликов, с температурой циркулируемых вод до +7°C.

В соответствии с гидрогеологическим районированием территории РФ, район работ относится к Тунгусскому артезианскому бассейну II порядка в составе Сибирского сложного криогенного гидрогеологического бассейна первого порядка. Гидрогеологические условия меняются главным образом в зависимости от криогенных условий и состава вмещающих пород. По характеру геологического разреза, интенсивности дислоцированности, условиям залегания и степени литификации пород в

бассейнах подземных вод можно выделить, до известной степени условно, четыре гидрогеологических этажа. Условное выделение гидрогеологических этажей обусловлено отсутствием в разрезе выдержанных водоупорных толщ, частым стратиграфическим несогласием и, главным образом, однотипным, преимущественно терригенно-карбонатным составом пород палеозоя. Вместе с тем, гетерогенность отдельных частей разреза палеозоя позволяет с известными допущениями выделить гидрогеологические этажи. К выдержанному почти повсеместно региональному водоупору относится толща многолетнемерзлых пород. К первому (верхнему) гидрогеологическому этажу относятся все водоносные безнапорные или субнапорные горизонты, подстилаемые криогенным водоупором (сезонно-водоносные, межмерзлотные, таликово-криогенные, криогенно таликовые, таликовые). Ко второму гидрогеологическому этажу относится вся вулканогенная толща пород верхней перми - нижнего триаса. В условиях распространения криогенного водоупора во втором гидрогеологическом этаже развиты напорные и субнапорные воды, приуроченные к водоносным блоково-покрово-пластовым зонам весьма неравномерной трещиноватости и зонам разломов. Третий гидрогеологический этаж охватывает часть геологического разреза от терригенно-угленосной (Тунгусская серия) толщи верхней перми, верхнего карбона до карбонатно-терригенно-ангидрито-галитовой формации нижнего девона - зубовская и курейская серии. Присутствие в разрезе аргиллитов курейской и до 40% гипс ангидритовых отложений зубовской серии дает основание отнести данную формацию к региональному относительному водоупору. В третьем гидрогеологическом этаже распространены преимущественно водоносные комплексы напорных и субнапорных вод и водоносные зоны разломов. Четвертый гидрогеологический этаж включает водоносные комплексы карбонатных и терригенных пород силура до кристаллического фундамента [3].

Подробнее следует остановиться на гидрогеологическом строении непосредственно шахтного поля рудника «Маяк», где выделяется два водоносных горизонта четвертичных отложений (сезонно-талого слоя и переуглубленной долины) и водоносная зона коренных пород.

Надмерзлотный горизонт сезонно-талого слоя функционирует в летне-осенний период на участках распространения островной мерзлоты с дневной поверхности и приурочен к валунно-галечным отложениям, пескам и суглинкам сезонно-талого слоя с коэффициентом фильтрации 0,1-20 м/сут. Мощность его определяется глубиной сезонного оттаивания водовмещающих отложений и изменяется в пределах 0,3-3,0 м. По химическому составу воды пресные гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные, натриевые или натриево-кальциевые с минерализацией 0,05-0,4 г/л.

Водоносный таликовый среднеплейстоцен-голоценовый горизонт приурочен к сквозному талику, развитому в переуглубленной долине реки Талнах. Он является продуктивным и эксплуатируется Талнахским водозабором, обеспечивающий водоснабжение Норильского промышленного района. Водовмещающими породами являются валунно-гравийно-галечные средне- и верхнеплейстоценовые отложения. Мощность продуктивного водоносного горизонта в осевой части долины при максимальном положении уровня составляет 40-85 м. К склонам долины мощность водоносного горизонта уменьшается до 1-2 м. Водоносный горизонт залегает непосредственно на коренных породах. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется от 5-10 до 30-200 м/сут. Максимальные значения характерны для осевой части долины. Удельный дебит здесь достигает 64 л/с*м, в периферийной части уменьшаясь до 0,02-5 л/с*м, минерализация подземных вод колеблется от 0,091 до 0,423 г/дм³. По химическому составу воды пресные, гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные натриевые или кальциевые, с минерализацией до 1 г/л. В центральной и южной частях месторождения (в поле рудника «Маяк») в разрезе присутствуют сартанские глины, являющиеся верхним водоупором, и водоносный горизонт имеет напор, величина которого зависит от условий питания и эксплуатации. Величина максимального напора изменяется от первых метров до 35 м. Нижним водоупором водоносного горизонта служат при отсутствии трещиноватости коренные породы, слагающие днище и склоны переуглубленной долины. Однако, зачастую подземные воды верхней зоны трещиноватости коренных пород образуют с водами средне- и верхнеплейстоценовых отложений единый водоносный комплекс. Также на некоторых участках в подошве водоносного горизонта залегают глинистые породы, которые затрудняют водообмен с нижележащими водоносными подразделениями. Однако, распространение глинистых разностей имеет не сплошной характер и в северной и северо-восточной частях шахтного поля рудника отмечаются участки, где потенциально может осуществляться прямое питание за счет просачивания вод реки в четвертичные породы.

Гидрогеологические подразделения коренных пород рудника «Маяк» представлены водоносной верхнепермской-нижнетриасовой криогенно-таликовой вулканогенной пластовой зоной, водоносной триасовой интрузивной зоной, водоносным среднекаменноугольным-верхнепермским угленосно-терригенным комплексом, водоносным средне-верхнедевонским ангидрито-терригенно-карбонатным комплексом. Водоносная верхнепермская-нижнетриасовая криогенно-таликовая вулканогенная пластовая зона представлена вулканогенной толщей ивакинской свиты верхнего отдела перми и реже сыверминской свиты нижнего триаса. Водовмещающими являются переслаивающиеся базальты,

туфы, туфопесчаники, туффиты, туфоалевролиты, туфобрекчии. Покровы базальтов имеют мощность 5-30 м, реже 150 м. Экзогенная трещиноватость с глубиной затухает, и водоносность проявляется в отдельных напластованиях. Воды залегают преимущественно в интервале 40-170 м. При наличии толщи ММП воды приобретают напорный характер. Уровни воды в скважинах устанавливаются на глубине от 0,78 м до 78,7 м, реже-более 100 м. Общее снижение уровня соответствует понижению рельефа поверхности с северо-востока на юго-запад, что указывает на существование постоянных источников питания подмерзлотных вод. Водообильность водоносной пластовой зоны по мере увеличения глубины существенно уменьшается. Коэффициенты фильтрации для туфов и базальтов составляют в среднем 0,1 м/сут, в верхней части разреза достигают 1-5 м/сут.

Минерализация вод вулканогенных отложений в большинстве скважин находится в пределах 0,1-0,6 г/дм³. Наиболее распространены хлоридно-гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные воды с преобладанием натрия и кальция в катионном составе. Водоносная интрузивная зона приурочена к ранне-среднетриасовым и верхнепермским интрузиям. Удельный дебит составил соответственно 0,01-0,1 л/с*м. Интрузивные породы обводнены, как правило, в контактных зонах, коэффициенты фильтрации 0,01-0,2 м/сут, коэффициент водопроводимости равен 1-2 м²/сут. В экзоконтактах интрузий с вмещающими породами вскрыты существенные по водообильности и проницаемости зоны. Коэффициенты водопроводимости пород, залегающих под рудным телом, составляют 0,1-3,2 м²/сут, а по скважине КЗ-450 [4], пересекающей рудное залежь и вскрывшей её нижний контакт, коэффициент водопроводимости заметно выше, составил 66 м²/сут. По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые, гидрокарбонатно-сульфатные натриево-кальциевые с минерализацией соответственно 0,3-1,4 г/дм³.

Водоносный среднекаменноугольный-верхнепермский угленосно-терригенный комплекс (С2-Р2). В литологическом составе принимают участие преимущественно лагунно-континентальные угленосно-терригенные отложения тунгусской серии: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты с прослоями известняков, каменных углей, в верхней части разреза встречаются туфопесчаники и туфоаргиллиты. Вскрытая мощность отложений до 300 м и более. Водоносный комплекс вскрыт и опробован многочисленными скважинами. Водообильность пород неравномерная, преимущественно низкая. Удельные дебиты большей частью составляют 0,01-0,02 л/с*м. В верхней части, где экзогенная трещиноватость более интенсивна, отмечены самоизливающиеся скважины с величиной напора на изливе до 1,8 м. Коэффициенты фильтрации отложений тунгусской серии обычно не

превышают 0,1-1,0 м/сут. Воды комплекса хлоридно-сульфатные или сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-натриевые и смешанные по катионному составу, минерализация 0,2-0,8 г/дм³.

Водоносный средне-верхнедевонский ангидрито-терригенно-карбонатный комплекс (D2-3). Водоносный комплекс прослеживается по периферии Норильского плато и вдоль юго-западной окраины Хараелахского плато. Водовмещающими породами в поле рудника «Маяк» являются известняки, доломиты, мергели с пластами ангидритов, алевролитов, аргиллитов, песчаников, гипсов, галитов нахохозкой свиты и каларгонской серии верхнего девона. Водоносный комплекс вскрыт скважинами в пределах рудника «Маяк» на глубинах 170-260 м. Пьезометрический уровень чаще всего отмечен на глубине порядка 3,3 – 45 м (на абсолютных отметках поверхности 30-77 м).

Опробованные откачками известняки и доломиты, местами мергели отличаются достаточно высокой водообильностью. Удельный дебит может изменяться от 0,55 до 4,2 л/с*м, коэффициент водопроводимости 66,2-75 м²/сут.

Минерализация подземных вод карбонатной толщи изменяется от 0,5-0,7 г/дм³ до 1,32-2,6 г/дм³. Встречаются сульфатные, гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные воды со смешанным катионным составом.

Относительно водоупорный нижнедевонский соленосно-терригенно-карбонатный горизонт (D1) и водоносный силурийский терригенно-карбонатный комплекс (S) в поле рудника не вскрыты, картируются к югу от поля рудника.

Литература

1. Гидрогеология СССР. Т. 18. М.: Недра, 1972. 480 с.
2. Институт Гипроникель. Технический проект разработки Талнахского месторождения. Рудник «Маяк». Участки богатых, «Медистых» и вкрапленных руд. Санкт-Петербург, 2018г
3. ООО «АКМА-УНИВЕРСАЛ». Информационный отчет «Разработка численной геофильтрационной модели Талнахского месторождения подземных вод с целью стабилизации гидрогеологической обстановки на руднике «Маяк». Этап 1». Воронеж, 2025г
4. Информационный отчет по ведению мониторинга месторождений твердых полезных ископаемых Талнахского рудного узла ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2024 год.

**Усманов Р. М,
Латыпов А. И.,
Королев Э. А.,
Мустафина А. И.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г.Казань, Россия, forstudentf@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН БИКЛЯНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Введение. Прогнозирование и контроль физико-химических свойств глинистых материалов - одна из центральных задач инженерной геологии и геотехники. Традиционно основные факторы, определяющие свойства глин, рассматриваются в рамках классической парадигмы, которая выделяет четыре ключевых параметра: гранулометрический состав, минеральный состав, состав обменных катионов, и состав и концентрация водного раствора. Эти факторы действительно формируют базовый потенциал физико-химических свойств материала.

Однако практическое применение этой модели выявляет существенные противоречия. Гипотеза настоящего исследования основана на наблюдении того, что глины Бикляновского месторождения (неогеновая система) и пермские глины, обладающие практически идентичными показателями по всем классическим параметрам, проявляют принципиально различные свойства набухания. Если первые характеризуются интенсивным набуханием, то вторые этого свойства практически не демонстрируют. Это явление указывает на существование дополнительного комплекса факторов, реализующих или подавляющих потенциал физико-химических свойств глин Татарстана.

Целью исследования является выявление особенности формирования физико-химических свойств бентонитовых глин Бикляновского месторождения и анализ дополнительных генетических факторов, которые обуславливают различия в проявлении свойства набухания между геологически и химически сходными образцами глин.

Методология исследования. Исследование базировалось на детальном сравнительном анализе образцов глин из двух источников: неогеновые глины Бикляновского месторождения (Татарстан) и глины пермского возраста, имеющих широкое распространение на территории Республики Татарстан. Методический подход включал следующие этапы:

1. Гранулометрический анализ - определение распределения частиц по размерам методом седиментации(ареометром) и лазерной дифракции;

2. Минеральный анализ - рентгенофазовый анализ (РФА) и электронная микроскопия для определения состава минералов;

3. Анализ обменных катионов – данные по составу обменных катионов были приняты на основании ранее опубликованных данных [Сабитов А.А.];

4. Изучение текстурных и структурных особенностей - сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), оптическая микроскопия и анализ макроструктуры образцов;

5. Определение степени набухания - измерение объемного и линейного набухания образцов в условиях свободного набухания при пропитке дистиллированной водой на образцах ненарушенной и нарушенной структуры;

6. Экспериментальные тесты механического нарушения структуры - растирание образцов для анализа влияния разрушения текстуры на свойства набухания.

Результаты и обсуждение. Предварительное тестирование показало близкие значения основных физико-химических параметров между глинами Бикляновского месторождения и пермскими глинами. Гранулометрический состав обоих типов глин характеризуется доминированием пелитовой фракции (частицы размером менее 0,01 мм) и размером глинистой фракции 10-15 нм (по определению косвенными методами). Минеральный состав идентичен и включает монтмориллонит (50–55%), альбит, слюду, хлорит (по 5-10%), каолинит (5–10%) и полевые шпаты с кварцем (15-20%). Состав поглощенных катионов представлен преимущественно кальцием и магнием с близкими коэффициентами обмена.

Казалось бы, при таком сходстве параметров оба типа глин должны проявлять сопоставимые свойства набухания. Однако практические наблюдения показывают диаметрально противоположность: глины Бикляновского месторождения демонстрируют линейное набухание в пределах 8-12%, тогда как пермские глины практически не набухают (менее 4%).

Углубленное изучение структуры и текстуры образцов выявило принципиальное различие в их организации на микроскопическом уровне. Сканирующая электронная микроскопия пермских глин показала наличие обширной системы цементационных связей, образованных кальцитом. Эти связи формируют прочный каркас, скрепляющий глинистые частицы и существенно ограничивающий их способность к относительному перемещению при гидратации.

В неогеновых глинах Бикляновского месторождения содержание кальцита значительно ниже, а система цементационных связей не развита. Это обстоятельство позволяет глинистым частицам более свободно

перемещаться при поглощении воды монтмориллонитом, реализуя тем самым полный потенциал набухания.

Данное предположение получило экспериментальное подтверждение в серии тестов, в которых структура образцов глин была нарушена механическим путем (растиранием в ступке). После разрушения текстуры и цементационных связей степень набухания как неогеновой, так и пермской глины приняла близкие значения (в пределах 30-40%), что свидетельствует о единственном различии - в характере организации материала, а не в его химическом составе.

Результаты. Полученные результаты позволяют переосмыслить роль генетических факторов в формировании физико-химических свойств глин бентонитовых глин Бикляновского месторождения. Традиционная модель, сосредоточенная на химическом составе и минеральном наполнении, является необходимой, но недостаточной для полного объяснения поведения глинистых материалов. Текстурные и структурные особенности, сформировавшиеся в ходе геологической истории осадконакопления и диагенеза, выступают в роли реализующих или подавляющих факторов.

В случае пермских глин условия их образования в более глубоких и долгодействующих условиях диагенеза способствовали накоплению кальцита и образованию мощной системы цементационных связей. Эти связи остаются эффективными вплоть до настоящего времени, снижая способность монтмориллонита к набуханию. Напротив, неогеновые глины Бикляновского месторождения, отложившись в относительно молодых и менее преобразованных условиях, сохранили структурно-текстурные особенности, позволяющую им реализовать свойства, вытекающие из их минерального состава.

Литература

1. Сабитов А.А. Месторождения бентонитов Республики Татарстан: геология и генезис, направления использования сырья // Георесурсы. 2015. - № 4 (63). - С. 27–35.
2. Есин Н.В., Есин Н.И., Подымов И.С., Лифанчук А.В., Мельникова И.В. Механизмы образования каспийских трансгрессивных морей в плейстоцене // Экология гидросферы. 2020. - № 2. - С. 13–23.
3. Вознесенский Е.А. Грунтоведение: учебное пособие / Е.А. Вознесенский. — М.: Изд-во МГУ, 2008. - 320 с.
4. Смирнов А.В., Петров В.И. Изменение физико-механических свойств элювиальных глин под влиянием цементации / А. В. Смирнов, В. И. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. - № 5. - С. 6–20

**Гараева А. Н.,
Орлова Н. А.,
Сисикенова Д. Д.**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия,
E-mail: Anastya-solnce@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА РАЗРУШЕНИЕ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА КАЗАНИ

В условиях интенсивной урбанизации и нарастающего техногенного воздействия проблема сохранения архитектурно-градостроительного наследия крупных исторических городов приобретает первостепенное значение. Особое место в этом ряду занимает Казань – один из старейших городов России, характеризующийся высокой концентрацией объектов культурного наследия в пределах сложных в инженерно-геологическом отношении территорий.

По состоянию на 2024 г. в Казани на государственной охране находится 565 объектов культурного наследия, из которых 2 – объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО, 126 – имеют федеральное значение, 371 – республиканское и 68 – местное. Значительная часть этих объектов сосредоточена в историческом центре города, прежде всего в пределах Вахитовского района. Здесь же фиксируется комплекс опасных экзогенных геологических процессов, усиленных техногенным влиянием, что создаёт дополнительные риски для сохранности памятников архитектуры.

Историческая застройка представлена преимущественно 2 – 6-ти этажными административными и культовыми зданиями с неглубокими фундаментами, нередко возведёнными без учёта современных требований инженерно-геологических изысканий. Высокая плотность застройки, развитая подземная инфраструктура, а также наличие линии метрополитена в непосредственной близости от ценнейших объектов культурного наследия усложняют инженерно-геологическую обстановку и повышают уязвимость исторических сооружений к воздействию природных и антропогенных факторов.

Характер и интенсивность геологических и инженерно-геологических процессов, оказывающих наибольшее влияние на состояние архитектурных памятников исторического центра Казани, в первую очередь определяются геоморфологическим и геолого-гидрогеологическими условиями территории [1]. Исторический центр города, главным образом в пределах Вахитовского района, приурочен к системе террасовых комплексов р. Казанки, последовательно сменяющихся от голоценовой поймы до среднеплейстоценовой третьей

надпойменной террасы, плавно сочленяющейся с более древней четвёртой террасой р. Волги.

Террасовые уступы выражены слабо, переходы между ними во многом техногенно сглажены в процессе градостроительного освоения. Поверхность слабо расчленена, уклоны, как правило, не превышают 3–5°, что определяет общий характер поверхностного стока и аккумуляции техногенных и природных вод.

Толща четвертичных отложений в пределах рассматриваемой территории представлена преимущественно аллювиальными, делювиальными и делювиально-пролювиальными суглинками, супесями и песками различной степени водонасыщенности и уплотнённости. Ниже залегают пермские карбонатно-сульфатные породы, локально подверженные карстообразованию и суффозии. Такое строение разреза обуславливает сочетание слабых водонасыщенных грунтов в верхней части профиля с потенциально неустойчивыми, закарстованными породами в основании, что создаёт предпосылки к развитию просадочных, суффозионных и карстово-суффозионных деформаций [2]. Развитие геологических и инженерно-геологических процессов в историческом центре города Казани представлено на рисунке 1.

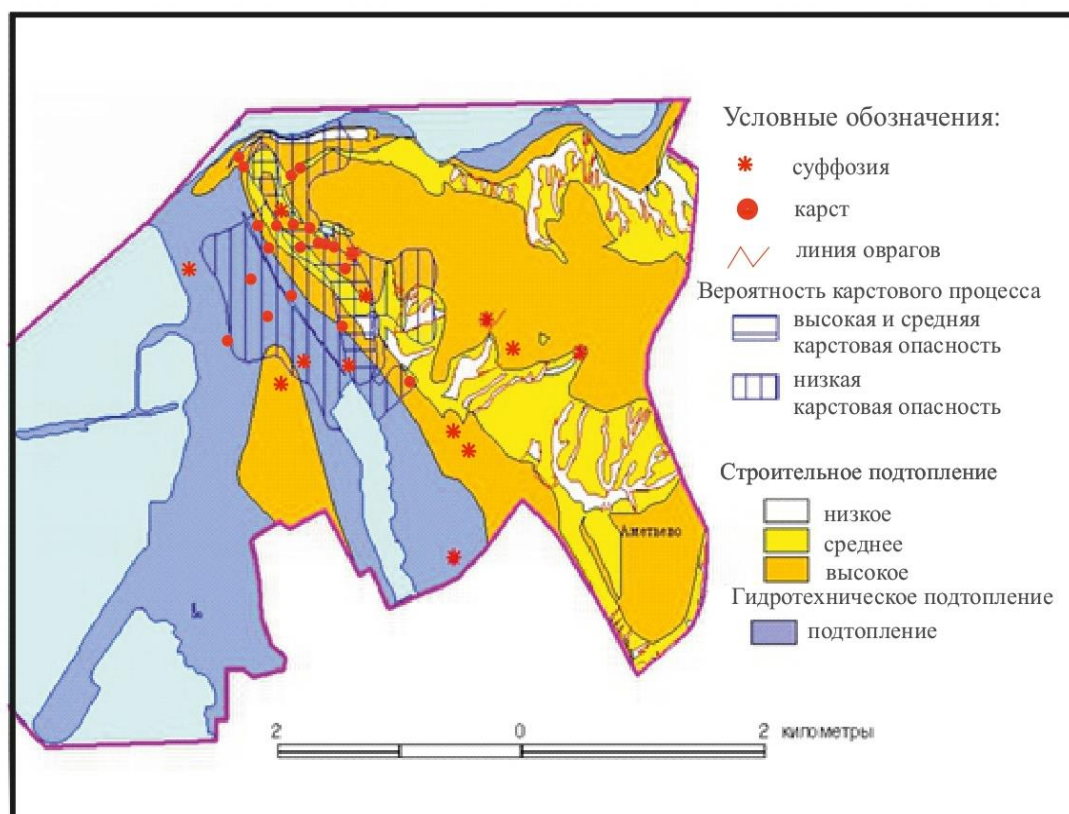


Рис.1 Развитие геологических и инженерно-геологических процессов в историческом центре города Казани

Первая надпойменная (Осташковская) терраса практически полностью затоплена водами Куйбышевского водохранилища с 1957 г. и сохраняется лишь в виде отдельных островных останцов, испытывающих постоянное воздействие подтопления. На одном из таких останцов расположен объект культурного наследия федерального значения — храм-памятник в честь Нерукотворенного образа Спасителя (XIX в.), один из древнейших воинских мемориалов России, который в настоящее время имеет фактически островное положение и со всех сторон окружён водами р. Казанки. Памятник постоянно испытывает техногенное подтопление и влияние речной эрозии. В сложившихся условиях данный объект требует повышенного внимания к развитию процессов и контролю деформаций его конструкций и основания.

Вторая надпойменная терраса (Микулинско-Калининская) располагается на абсолютных отметках 51–60 м. В результате масштабной перепланировки и последующей застройки центральной части города её первоначальный рельеф подвергся значительной антропогенной трансформации. В пределах современного застроенного центра, относящегося к калининской террасе, в зонах древних и современных форм микрорельефа (оврагов, болотистых понижений, выемок и пр.) распространены мощные толщи насыпных грунтов, сформировавшиеся за длительный период техногенного воздействия.

На рассматриваемой территории доминирует техногенное подтопление, связанное с утечками из водопроводных и канализационных сетей, нарушением работы дренажных систем и ливневой канализации, высокой плотностью застройки и регулированием уровней воды в городских водных объектах. Наиболее уязвимы здесь дореволюционные здания, конструктивно не рассчитанные на длительное переувлажнение оснований и лишённые надёжной гидроизоляции. Фундаменты таких сооружений, как правило, выполнены из бутовой (реже кирпичной) кладки на известково-песчаном растворе.

Продолжительное переувлажнение приводит к снижению несущей способности грунтов основания, развитию неравномерных осадок, активизации суффозионных процессов в песчаных прослоях и выщелачиванию известкового раствора, что обуславливает распад бутовой кладки. Ослабленные таким образом основания и фундаменты становятся существенно более чувствительными к динамическим воздействиям и вибрациям от автомобильного транспорта и метрополитена, что проявляется в развитии трещин в несущих и ограждающих конструкциях, возникновении крена стен, частичной утрате их несущей способности и разрушении подлинных конструктивных элементов памятников архитектуры,

Помимо техногенного подтопления, в толще техногенных (насыпных) грунтов центральной части города под воздействием длительных утечек из

подземных водопроводных и канализационных сетей могут интенсивно развиваться суффозионные процессы, что нередко выражается в формировании локальных просадок поверхности, деформации дорожных покрытий и оснований зданий. В последние годы в связи с участвовавшими прорывами водонесущих коммуникаций в районе Чёрного озера отмечается рост числа техногенных суффозионных провалов, которые могут неблагоприятно сказаться на расположенных поблизости памятниках архитектуры и объектах исторической застройки.

Третья надпойменная (Одинцовско-Московская) терраса в пределах исторического центра Казани врезана в поверхность пермских пород, формирующую эрозионно-карстовый останец, известный как «Казанский хребтик». В геоморфологическом отношении он представляет собой вытянутую гряду протяжённостью около 2 км. В районе «Казанского хребтика» зафиксировано значительное количество карстовых провалов и воронок, а также отмечается развитие техногенно обусловленных оползневых процессов. Именно на этой террасе сосредоточены два объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО, множество объектов культурного наследия федерального значения, а также памятники архитектуры республиканского и местного значения, что придаёт рассматриваемому участку исключительную градостроительную и охранную значимость.

Активизация карстово-суффозионных процессов в пределах террасы создаёт высокую степень риска для исторической застройки. За последние 100 лет провалы грунта неоднократно фиксировались на улицах Кремлёвская, Островского, Лево-Булачная, Дзержинского, Мусы Джалиля и др. Наиболее опасные проявления негативных геодинамических процессов приурочены к улице Кремлёвской, расположенной вдоль осевой части эрозионно-карстового останца «Казанский хребтик». Наиболее активная фаза карстовых процессов пришлась на 1975–1985 гг. В этот период в результате образования карстовых провалов произошло частичное обрушение старинного здания Александровского пассажа (уникальный памятник архитектуры федерального значения) со стороны ул. Дзержинского, были зафиксированы воронки на проезжей части ул. Мусы Джалиля [3]. Всего в непосредственной округе разрушенного здания Пассажа было зарегистрировано 11 провалов различной мощности. Анализ инженерно-геологических условий исторической части г. Казани показывает, что основной причиной поверхностных деформаций грунтового массива в пределах «Казанского хребтика» является развитие глубинного карста, создающий опасность для сохранности уникальных объектов архитектурного наследия [4].

Формирование овражно-балочной сети так же получило наибольшее развитие благодаря сочетанию ярко выраженного уступа, эрозионно-холмистого рельефа и высокой размываемости супесчаных, суглинистых пород. Многократное засыпание верхних участков оврагов в пределах

«старого города» (от Кремля до ЦПКиО им. Горького), формирование мощного культурного слоя и выравнивание рельефа радикально изменили естественную морфологию территории. В результате под сложившейся городской застройкой скрыта развитая система древних и частично функционирующих овражно-балочных форм, что обуславливает высокую пестроту инженерно-геологических условий. Это создаёт предпосылки для неравномерных осадок фундаментов, оползневых и суффозионных процессов, особенно на участках, приуроченных к уступу террасы и бровкам засыпанных оврагов. Открытые и частично сохранённые овражно-балочные формы центральной части города — урочище «Русско-немецкая Швейцария» (Скотские горы), используются как особо охраняемая природная территория, а ряд оврагов трансформирован в транспортные коридоры (например, ул. Чернышевского, ул. Пушкина, ул. Бутлерова, ул. Овражная, ул. Вишневого и т.д) [5]. Такое функциональное переосвоение снижает нагрузку на улично-дорожную сеть, но одновременно концентрирует техногенное воздействие (динамические нагрузки от транспорта, изменение дренажных путей поверхностного стока, локальное подрезание склонов) в зонах, изначально склонных к развитию эрозионно-оползневых процессов.

Многие памятники архитектуры XVIII–XIX вв. и более ранних эпох расположены либо в непосредственной близости от уступа третьей надпойменной террасы и береговых склонов, либо на участках бывших оврагов, позднее засыпанных и выровненных под застройку. Основную опасность представляет развитие склоновых деформаций: сползание делювиальных и техногенных толщ по поверхностям скольжения, подмыв и разуплотнение грунтов у подножия склонов, что может приводить к деформациям оснований зданий, их крену, образованию трещин в стенах, а также к разрушению подпорных стен и лестничных каскадов.

В пределах исторического центра Казани большое внимание уделяется оползневым процессам, которые развиваются преимущественно на склонах надпойменных террас, формирующий эрозионно-карстовый останец «Казанский хребтик», значительно преобразованный в ходе градостроительного освоения. Наиболее уязвимыми с точки зрения оползневой опасности являются склоны Казанского кремля - объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО, где сложное сочетание естественных геоморфологических условий и техногенных факторов формирует зону повышенного геотехнического риска для памятников архитектуры. На склонах антропогенно преобразованного рельефа Казанского кремля развиваются техногенные оползни преимущественно деляпсивного, асеквентного типа по механизму смещения пород. Оползневые деформации проявляются почти ежегодно в форме медленных смещений, выпучиваний и осадок, что находит отражение в возникновении трещин, расхождений швов и перекосов кирпичной кладки крепостных и

подпорных стен [6]. Похожие техногенные оползневые процессы отмечены на территории Казанского федерального университета, в районе Астрономической обсерватории им. В. П. Энгельгардта, относящейся к объектам Всемирного наследия ЮНЕСКО. Со стороны ул. Профсоюзной были зафиксированы признаки неустойчивости склонов по такому же механизму смещения пород.

Совокупность приведённых данных позволяет отнести склоновые участки вытянутой гряды «Казанского хребтика» к зонам повышенной оползневой опасности в условиях плотной исторической застройки, требующее повышенного внимания для сохранения уникальных памятников архитектуры.

Заключение. Исторический центр Казани, характеризующийся высокой концентрацией объектов культурного наследия, одновременно представляет собой территорию со сложной и во многом техногенно трансформированной инженерно-геологической обстановкой. Техногенное подтопление, карстово-суффозионные процессы, техногенно обусловленные оползни, просадочные явления, а также овражная эрозия и её последствия при рекультивации территории под застройку формируют совокупное негативное воздействие на памятники архитектуры, существенно повышая риск их деформации и разрушения. Комплексный учёт природных и антропогенных геологических факторов является необходимым условием для разработки эффективной стратегии сохранения архитектурно-градостроительного наследия Казани и обеспечения его устойчивого существования в условиях дальнейшего развития городской среды.

Литература

1. Шевелёв А.И., Жаркова Н.И., и др. Особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий города Казани // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 9. С. 62-67.
2. Шевелев А.И., Жаркова Н.И., Бубнов Ю.П., Латыпов А.И., Хузин И.А., Галеев Р.К. Ведение мониторинга геологической среды города Казани // Георесурсы. 2014. № 3 (58). С. 3-8.
3. Зиннуров А. Р., Музалевская Л. В., Гараева А. Н. Оценка карстово-суффозионной опасности на территории квартала, ограниченного улицами Рахматуллина - Кави Наджми - Профсоюзная - Мусы Джалиля, Вахитовского района Г. Казани // Геология в развивающемся мире: Сборник научных трудов по материалам XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 15–17 апреля 2020 года. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – С. 457-459.

4. Латыпов А.И., Гараева А.Н., Яббарова Е.Н., Усманов Р.М., Кинжалова И.Н. Применение видеокаротажа для исследования карстовых проявлений в центральной части г. Казани // Геоинфо. 2025. Т. 7. № 3. С. 18–26.

5. Safina G. R., Fedorova V. A. and Medvedeva R. A. Gullies and dry-valley systems of Kazan as a territorial reserve for the development of the city // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 107 (2017) 012021

6. Гараева А.Н., Латыпов А.И., Королев Э.А., Зарипова Д.Р. Изучение состояния массивов исторических памятников на примере ансамбля Казанский кремль // Сергеевские чтения. Массивы грунтов как жизнеобеспечивающий ресурс общества: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Псков, 27–28 марта 2025 года. – Москва: Геоинфо, 2025. – С. 263-267.

магистрант 1 курса **Мансурова Р. Р.**

научный руководитель **Ильяш В. В.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский Государственный университет", г. Воронеж, Россия,

E-mail: redjina.000@gmail.com

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ГЕОСИСТЕМ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ТОЙДА

Под геосистемой автор этого термина В.Б. Сочава понимал лишь природную составляющую ландшафта: *«Влияние человеческого сообщества придает новые качества геосистеме, однако экономические и социальные источники воздействия, порождающие соответствующие изменения в геосистеме, в неё не входят. Геосистема остается при всех условиях категорией природного порядка»* [1, 2].

Это определение не соответствует современным представлениям о соотношении природных и антропогенных компонентов в ландшафте как территориальной системе, и кажется внутренне противоречивым. Наверное, в этом и причина, что прошло более шестидесяти лет, как появился этот термин, а до сих пор в солидных научных учреждениях и изданиях истолковывают содержание этого термина. Например, ученые Института географии РАН [3] экспертным способом, анализируя около 400 публикаций на данную тему, поднимают вопрос, что допустимо считать системой: *«Ключевым моментом здесь является первый пункт, устанавливающий обязательную необходимость взаимных связей между всеми компонентами системы. В противном случае теряется*

целостность. Нужно признать, что это требование весьма и весьма жесткое. При этом возникает вопрос: должны ли быть связи прямыми, или же допускается наличие опосредованных или косвенных связей? Возможны оба варианта ответа. В зависимости от ответа выбирается математический аппарат, посредством которого формализуется и исследуется данная конкретная система. Этим вопросом занимались и занимаются многие ученые и коллективы, как в рамках общей теории систем, так и ее приложений к конкретным объектам»

Более определенное пояснение находим в портале Большая Российская Энциклопедия: *«Геосистемам присущи все основные свойства систем, важнейшими из которых являются целостность, несводимость к простой сумме составляющих её частей; наличие взаимосвязанных между собой структурных элементов, взаимодействие с внешней средой в качестве самостоятельного единства посредством прямых и обратных (положительных и отрицательных) ландшафтных связей»*

Можно задаться вопросом, если при взаимодействии природных и антропогенных систем имеет место обоюдное качественное изменение, тогда что мешает считать их подсистемами? Анализ многочисленных данных, систематизированных позднее рядом известных ученых, приводит к выводу: *В регионах с давней историей хозяйственного освоения природные и техногенные компоненты ландшафта переплелись настолько тесно, что представляют собой уже целостную, хотя и динамически неравновесную природно-техногенную систему* (Николаев В.Б.: Трофимов В. Т, Королев В.А. и др.)

В настоящее время интерес представляют не морфологические задачи, связанные с изучением этих систем, а функциональные, которые позволяют прогнозировать их развитие [4]. Исходя из последнего, попытаемся проанализировать и дать собственную оценку характеру связей факторам, влияющим на неоднородности в распределении видов растений и экологического состояния их экологическим нишам на склонах левого берега долины нижнего течения р. Тойда между селами Верхняя Тойда и Старая Тойда.

Индикатором экологических условий геосистем ранга природных зон с широтной и поясной зональности является видовой состав растительного покрова, реагирующей на климатические различия между зонами по температуре и влаги. На топологическом уровне в пределах климатической зоны видовой состав растительного покрова всё равно неоднородный, но уже по причине влияния интразональных геолого-геоморфологических факторов (литологический состав почвенного субстрата, эрозионный потенциал рельефа, механическое состояние грунтового массива и экспозиция склонов). Динамика грунтов (их напряженность) определяет их сложение и проницаемость, соответственно

соотношение увлажненности и аэрации и в целом зависит от энергетики морфоструктуры, с которой связаны. Участок наших исследований в геолого-структурном отношении является частью Дмитровского локальное поднятие, ограниченного зонами динамического влияния двух активными разломами в кристаллическом фундаменте. Это находит отражение и в повышенной активности экзогенных геологических процессов, заметно влияющих на особенности местного ландшафта. Свою лепту вносит и фактор социально-хозяйственной деятельности, уклад которого здесь также не менее динамичный и изменчивый.

Из жизнеобеспечивающего набора факторов для местных растений критические один или два. Поэтому здесь существуют растения как с узкой избирательностью условий произрастания (влаголюбивые, теплолюбивые, светолюбивые, петрофиты, рудералы), так и менее прихотливые универсалы. Растительный покров более однообразен на выровненных водораздельных площадях, но на склонах его структура становится более сложной, приспособляясь к более сложной структуре распределения влаги (рис.1,2)



Рис.1 Две системы зонального распределения растительного покрова относительно линий изогипс: горизонтальная (слева) и ортогонально-радиальная (справа).



Рис.2 Пример очевидного предпочтения этого вида зонтичных селиться по бровке оврага.



Рис.3 Полынь «предпочла» ложбину не только как более увлажненную форму рельефа, но и потому, что почва здесь на каменистом субстрате не очень притягательна для других видов растений



Рис.4 Морфологическая аномалия растительного покрова в форме круга над водоносным горизонтом

На этих четырех вышепоказанных авторских фотографиях видим примеры опосредованного влияния отдельных элементов рельефа на распространение отдельных видов растений, либо через количество влаги, либо через интразональные типы почв на разном породном субстрате.

Ниже продемонстрируем влияние на экологическое состояние растительного покрова неустойчивой и не до конца отлаженной системы социально-экономических отношений (рис.5 и 6).



Рис.5 Такие буреломы до газификации района существовали недолго – очищались местным населением на дрова.



Рис.6 В районе функционирует ООО «Вега» по вывозу бытового мусора, но сверхлимитный объем вывозить отказывается, перекладывая эту проблему на районную администрацию. В итоге, видим свалку «на рельеф»», но энергетику геосистемы она пока не меняет.

Выводы

Экосистемы, хотя и наложены на геолого-геоморфологический каркас местного ландшафта, объединены с ним внутренними энергетическими связями и таким образом составляют общую целостную геосистему. Экологическое загрязнение отдельных её подсистем по интенсивности воздействия на данном участке пока можно рассматривать как наложение второго порядка и проявление лишь внешних связей.

Литература

1. Сочава В. Б. (ред.). Топологические аспекты учения о геосистемах/Наука, Сибирское отделение, 1974 – 281 с
2. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1978. — 319 с.
3. Кочуров Б.И Учение о геосистемах академика В.Б. Сочавы и современность/ Б.И. Кочуров, В.Б. Коробов, А.С. Лохов. //География и природные ресурсы 2025 № 3 с. 154–159
4. Кузнецов А.С. Энергетический подход в геоморфологическом картографировании/Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6 URL

магистрант 1 курса **Симонов И. М.**,
 научный руководитель **Корабельников Н. А.**
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 образования "Воронежский государственный университет", г. Воронеж, Россия,
 E-mail: Iyasimonov2017@yandex.ru

АНАЛИЗ СВЯЗИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА ПОД КОНУСОМ ЗОНДА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ ДЛЯ ПЕСКОВ АЛЛЮВИАЛЬНОГО ГЕНЕЗИСА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Отобрать пробы песка ненарушенного строения из скважин, и впоследствии испытать эти грунты почти невозможно. Поэтому основным методом определения механических характеристик при инженерно-геологических изысканиях является статическое зондирование грунтов [1].

В пробах песках нарушенной структуры определяется массово гранулометрический состав и естественную влажность. Нами была поставлена задача проанализировать, есть ли зависимости между содержанием отдельных фракции песка (или их совокупностей) и удельным сопротивлением грунта под конусом зонда при статическом зондировании.

На территории Воронежской области широко представлены пески аллювиального генезиса, поэтому именно они были выбраны для анализа.

Были проанализированы материалы более чем по 50-ти объектам инженерно-геологических изысканий. Из них проведена выборка результатов определения гранулометрического состава и соответствующих им значений удельного сопротивления под конусом зонда. Объем выборки составил 462 строки (Таблица 1).

Таблица 1

Основные статистические показатели выборки

Объект и номер	Глубина	Гранулометрический состав в %						Мк	qс, мПа
		>2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество		462	462	462	462	462	462	462	462
Минимум		0	0	0,96	1,37	4,92	0,74	0,6444	0,73
Максимум		12,55	12,2	47,14	72,39	72,68	42,39	2,6617	31,3
Среднее		0,37	1,43	12,55	40,82	33,99	10,85	1,61	12,35
Станд.отклонение		0,497	1,140	6,079	8,213	9,892	6,099	0,209	5,572
Коэффициент вариации		1,359	0,796	0,485	0,201	0,291	0,562	0,130	0,451

Далее был проведен корреляционный анализ содержаний отдельных фракций песка и удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) [2]. Каких либо значимых зависимостей на точечных графиках не было выявлено (Рис. 1-5, левая часть). Коэффициенты детерминации (R^2) составляют от 0,00006 до 0,025. Это объясняется значительным разбросом значений q_c при одинаковых значениях содержания отдельных фракций. Так при содержании фракции 2-1 мм около нуля разброс q_c составляет от 0 до 30 МПа.

Для определения общей тенденции изменения удельного сопротивления под конусом зонда от содержания отдельных фракций был проведен корреляционный анализ средних интервальных значений (регрессия средних значений). Содержание отдельных фракций разбивалось на интервалы, для них находились среднее значение q_c , и строились графики зависимости средних значений.

На графиках средних значений содержаний фракций 2-1 мм и 1,0-0,5 мм можно заметить, что при увеличении процентного содержания этих фракций происходит падение средних значений q_c с 13,0 МПа до 9,0 МПа в первом случае и с 13,0 до 7,0 – во втором (рис. 1, 2).

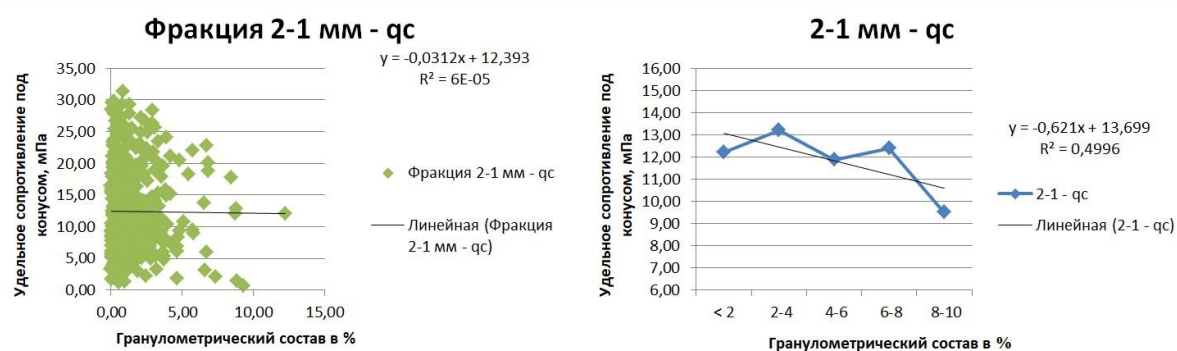


Рис.1. Графики зависимости удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от содержания фракции 2-1 мм, частные (слева) и средние значения (справа)

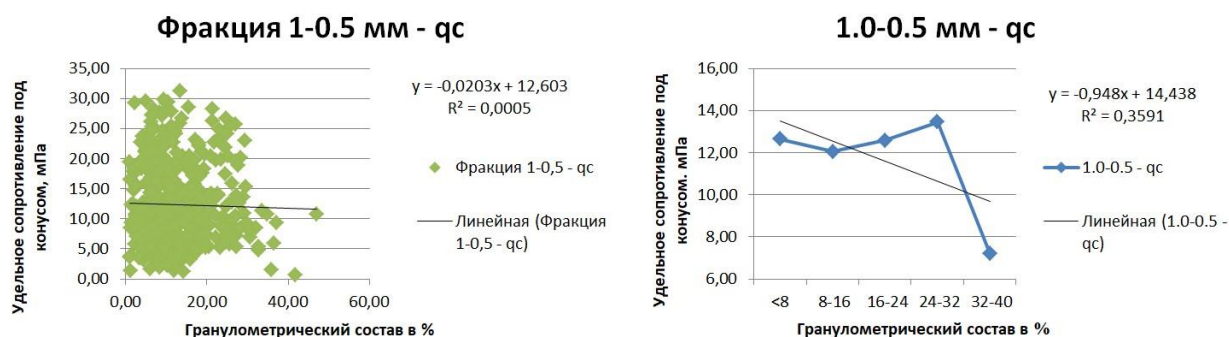


Рис.2. Графики зависимости удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от содержания фракции 1,0-0,5 мм, частные (слева) и средние значения (справа)

Однозначных закономерностей не прослеживается, так как коэффициент детерминации R^2 составляет 0,35 – 0,5.

При увеличении средних интервальных значений содержания фракции 0,5 -0,25 мм происходит вначале рост средних значений q_c , а затем их резкое падение (Рис. 3). Каких либо закономерностей не проявляется.

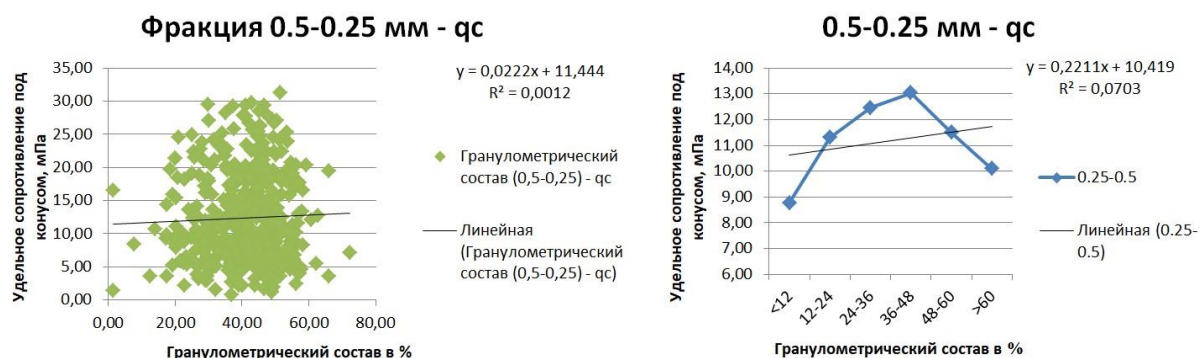


Рис.3. Графики зависимости удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от содержания фракции 0,5-0,25 мм, частные (слева) и средние значения (справа)

Для фракции 0,25-0,1 проявляется устойчивый рост средних значений q_c при увеличении содержания фракции от 10 до 60 %, с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,74$ (Рис. 4).

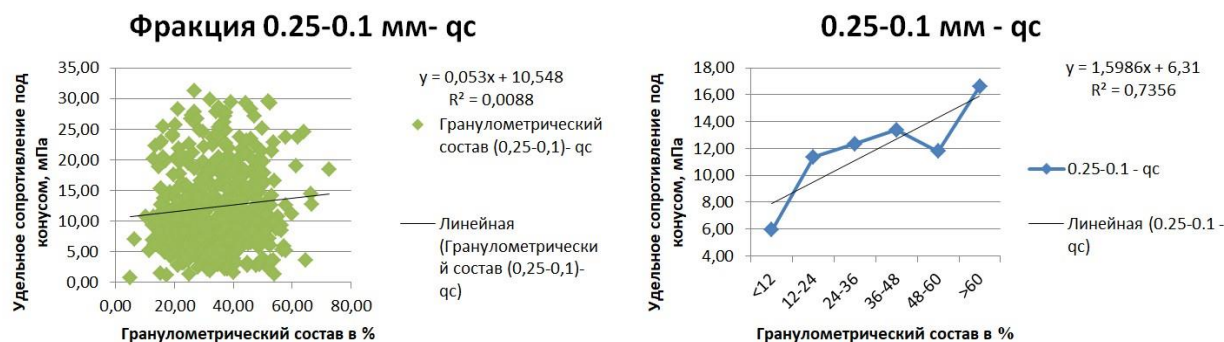


Рис.4. Графики зависимости удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от содержания фракции 0,25-0,1 мм, частные (слева) и средние значения (справа)

Стоит заметить, что содержание одной из фракций 50 % и более процентов указывает на однородность песка. Поэтому для всех проб нами был рассчитан коэффициент однородности песка (C_u) и проведен анализ зависимости средних q_c и средних значение C_u (Рис. 5). На графике проявляется довольно значимая зависимость ($R^2 = 0,63$), что с ростом неоднородности песков падают значения сопротивления под конусом

зонда. То есть, можно сделать вывод, что более однородные пески являются более плотными.

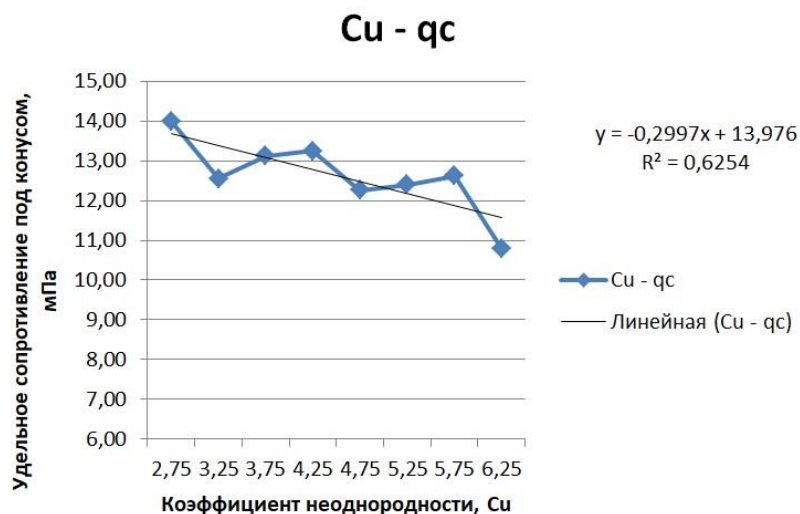


Рис.5. График зависимости средних значений удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от степени неоднородности песка (C_u)

Для фракции менее 0,1 мм получен ожидаемый результат – с увеличением содержания этой фракции падают средние значения удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) (Рис. 6). Пылеватые и глинистые частицы этой фракции работают как смазочный материал.



Рис.6. Графики зависимости удельного сопротивления под конусом зонда (q_c) от содержания фракции <0,1 мм, частные (слева) и средние значения (справа)

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что значимой зависимости между содержанием отдельных фракций песка и значениями удельного сопротивления под конусом зонда не выявлено. За исключением фракции < 0,1 мм - с увеличением ее содержания устойчиво падают значения q_c .

Также выявлено, что удельное сопротивление под конусом зонда заметно увеличивается при возрастании однородности песка.

Соответственно, можно сделать вывод, что однородные пески более плотные, чем неоднородные.

Литература

1. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. Монография. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 496 с.
2. Ядзинская М. Р. Математические методы в гидрогеологии и инженерной геологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Р. Ядзинская ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2022. – Часть 1. – 6,3 Мб ; 92 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/YadzinskayaMatematicheskie-Metody-V-Gidrogeologii-I-Inzhenernoj-Geologii.pdf>. – Заглавие с экрана.

магистрант 2 курса **Трофимова А. С.,**

научный руководитель **Латыпов А. И.**

*Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Институт Геологии и Нефтегазовых технологий, г. Казань, Россия,
E-mail: anastasiastrofimova@mail.ru*

МЕТОДЫ СБОРА И КОНСОЛИДАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ML И BIGDATA-АНАЛИЗА В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Машинное обучение в последние пять лет получает все большее распространение в фундаментальных и прикладных исследованиях. Благодаря его использованию ученые получают возможность выявлять скрытые закономерности в огромных массивах данных, находить скрытые корреляции, делать выводы, недоступные людям, использующим только традиционные методы анализа [1]. Однако использование машинного обучения сопряжено с рядом трудностей, первая из которых – необходимость сбора достаточной по размеру базы данных. Особенно остро это проблема стоит в естественных науках, например в инженерной геологии [2].

В процессе инженерно-геологических изысканий собирается большое количество данных, но они хранятся разрозненно, в файлах разных форматов и шаблонов (в основном *xlsx*-таблицы, текстовые файлы и тд). Вследствие этого внедрение новейших технологий в эту область сталкивается с весомым препятствием. Собирать эти данные воедино вручную – в производственных условиях задача повышенной сложности и трудоемкости.

В настоящей работе описываются результаты исследования, посвященного способу консолидации данных с целью создать датасет, предназначенный для машинного обучения и анализа больших данных.

Для консолидации были собраны данные с 16 объектов инженерно-геологических изысканий. Анализировались данные статического зондирования, данные о координатах выработок и данные лабораторных физико-механических исследований.

В качестве инструмента для объединения данных был выбран язык программирования Python и одна из основных его библиотек, предназначенных для работы с табличными данными – Pandas.

Это наиболее подходящий инструмент для подготовки данных, потому что он позволяет автоматизировать большое количество рутинных действий, объединить в одном блоке кода массу операций по работе с данными, подсчетам и визуализации. Также код на python можно сделать универсальным и переиспользуемым, благодаря чему можно использовать его повторно, на схожих по структуре данных с другого объекта.

Весомым недостатком является необходимость базового понимания синтаксиса этого языка программирования, но на нынешний момент времени для написания и понимания кода достаточно минимального уровня знаний.

На первом этапе была решена проблема фрагментации данных в файлах статического зондирования, содержащих большой массив информации, трудно анализируемый стандартными методами исследований. Проблема заключается в том, что в контексте машинного обучения элементарной значимой единицей является строка таблицы, содержащая в себе всю информацию о условном «образце», для которого будет проводиться анализ. Файл представляет собой таблицу, где последовательно собраны данные всех точек статического зондирования (Далее – ТСЗ) объекта. Описание точки состоит из заголовка, где собрана вся информация о точке, ниже продолжается только 3 столбца – данные о глубине, лобовом и боковом сопротивлении. То есть использовать таблицу в исходном виде - не представляется возможным, так как в строках нет информации о точке статического зондирования и описания ИГЭ, добавляемого в файл на камеральном этапе и также имеющего ценность для последующего анализа. Посредством программного кода было произведено размножение данных: информация о точке была скопирована из первой строки во все последующие строчки этой же точки, с автоматическим обновлением информации из колонки с описанием ИГЭ, и так для всех точек статического зондирования в рамках конкретного файла.

На втором этапе к получившемуся датасету программным путем были присоединены данные о координатах выработок. Это позволит в будущем кроме ML и BigData-анализа производить еще и пространственный анализ изменчивости свойств грунтов. Код был написан так, чтобы в каждую строку, содержащую всю информацию о ТСЗ, в

новый столбец были вставлены координаты из каталога координат. Присоединение производилось по столбцу с названием выработки.

На третьем этапе к датасету были присоединены данные физико-механических свойств грунтов. Исходно они представляют собой таблицу сводной ведомости лабораторных испытаний грунтов, где каждая строка – проба, отобранная на определенной глубине из буровой скважины, над которой был проведен комплекс физико-механических испытаний. Благодаря тому, что статическое зондирование как правило проводится рядом с буровой скважиной, мы можем поставить соответствие между пробой и определенной глубиной статического зондирования. Присоединение проводилось по столбцам «Номер скважины» и «Номер ближайшей выработки».

После завершения третьего этапа мы получили датасет по объекту, содержащий информацию о статическом зондировании, с интервалом 0,1 метр и информацией о ИГЭ для каждой строки (на основании камерального разделения статики), координатами и отрывочной информацией о пробах (по 1-3 на ИГЭ, от 1 до 7 на скважину). Этой информации все еще мало для анализа, так что произвели размножение информации. Основываясь на том, что, по определению, свойства грунтов в пределах одного ИГЭ статистически однородны, можно сделать вывод, что копирование результатов лабораторных испытаний в пределах одного ИГЭ одной точки статического зондирования несущественно повлияет на точность анализа.

Далее сходные операции были произведены над данными с других объектов, всего было преобразовано 16 наборов данных. В результате был получен датасет размером 50 столбцов на 43284 строки.

После очистки датасета от выбросов, недостоверных данных и строк без лабораторных данных осталось порядка 8 тысяч строк, содержащих всю значащую информацию, необходимую для дальнейшего анализа.

Таким образом, благодаря выполненному исследованию был разработан способ консолидации данных с целью создать датасет, предназначенный для решения различных прикладных задач в инженерной геологии, например построение карт, создание региональных зависимостей и таблиц, BigData анализ или машинное обучение.

Литература

1. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Монография / А.В. Гаврилов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – С.142
2. Королёв В.А. Цифровизация и искусственный интеллект в инженерной геологии / Королёв В.А. // Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии. Труды международной научной конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.) – С. 208-214

магистрант 1 курса **Дешевых Н.А.**
научный руководитель **Корабельников Н.А.**
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования "Воронежский государственный университет", г. Воронеж, Россия,
ООО «Акма-Универсал», г. Воронеж, Россия,
E-mail: deshevikh-akma@mail.ru*

ОЦЕНКА ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОЗЁМАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Согласно требованиям нормативным документам [1,2,3] для расчета суммарного показателя химического загрязнения в качестве фоновых значений загрязняющих веществ в почвах (или грунтах) используют данные уполномоченных государственных органов, а в случае их отсутствия допускается использование материалов, характеризующих региональные фоновые значения, результаты экологического мониторинга и (или) научно-исследовательских работ (фондовых и опубликованных), а также данных о фоновых значениях, установленных в ходе ранее выполненных инженерно-экологических изысканий.

Исходя из этого, нами проведено обобщение результатов геохимического опробования почв, проведенных в рамках инженерно-экологических изысканий, на территории Воронежской области, и определены региональные фоновые значения для основных типов почв. Расположение рассматриваемых объектов изысканий показано на Рисунке 1. В общей сложности в работе использованы результаты исследований 234 проб почвы по 25-ти объектам изысканий. Изыскания проводились ООО «Акма-Универсал» в период с 2011 по 2024 годы.

Таким образом, получение фактических значений фоновых концентраций позволит повысить качество и релевантность изысканий в области оценки загрязнения почвы.

В выборку попали пробы территорий сельских поселений и территорий сельскохозяйственного назначения, которые слабо подвержены антропогенному воздействию. Пробы, отобранные на городских территориях, были исключены, как не удовлетворяющие цели работы – получению фоновых значений концентрации загрязняющих веществ.

Количество данных по каждому химическому показателю составило от 44 до 230 значений (табл.1), что связано с различными требованиями к проводимым исследованиям и с разными методиками определения концентраций.

Таблица 1.

	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	As
Количество значений	227	209	230	44	229	191	55

Почвы рассматриваемых объектов при изысканиях были определены как чернозёмы выщелоченные, типичные и обыкновенные [6], мощностью в среднем от 40 до 80 см. По кислотности можно отнести почвы к нейтральным, кислотность в среднем составляет 6,5.

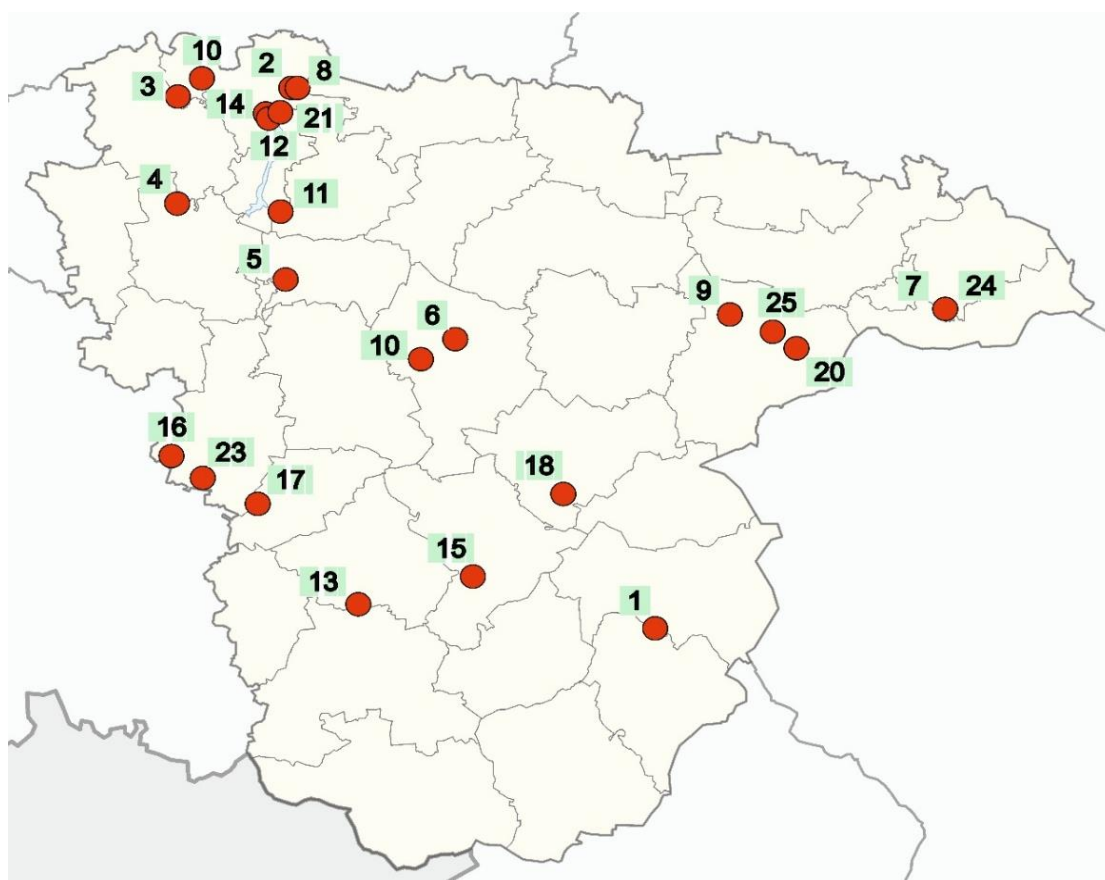


Рис. 1. Расположение рассматриваемых объектов изысканий.

Таблица «Ориентировочные значения фоновых концентраций химических элементов в почвах» из СП 502.1325800.2021 (Приложение Д), со значениями из которой мы будем сравнивать наши результаты, содержит лишь обобщённые значения для чернозёмов (без дифференциации по типам), в данной работе все почвы также классифицированы как чернозёмы, без углублённого типологического разделения.

Методика статистического анализа массива данных концентраций химических элементов в исследуемых почвенных пробах включала предварительную проверку соответствия распределения анализируемых

величин нормальному закону, после чего осуществлялось вычисление среднего значения концентрации для каждого элемента. Стандартное отклонение по выборке использовалась как мера оценки изменчивости концентраций отдельных компонентов.

В ходе статистической обработки данных установлено, что распределение значений концентраций цинка (Zn) и ртути (Hg) согласуется с нормальным законом (рис. 2, 3).



Рисунок 2. График плотности распределения вероятности содержания цинка в почвах.

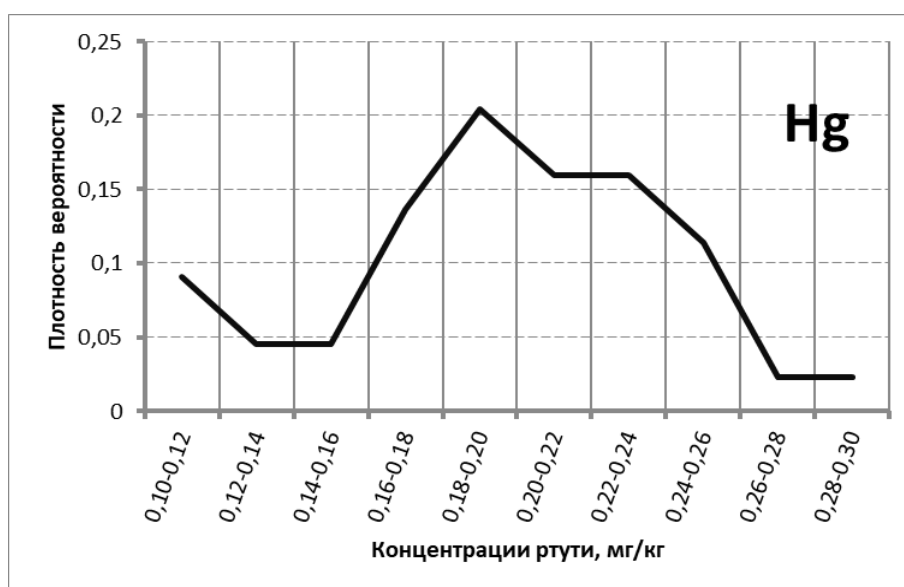


Рис. 3. График плотности распределения вероятности содержания ртути.

Средние значения составили: цинка 40 мг/кг, при стандартном отклонении 20 мг/кг, ртути - 0,18 мг/кг при стандартном отклонении 0,04 мг/кг.

Концентрации кадмия (Cd), свинца (Pb) и меди (Cu), явно подчиняются логарифмически нормальному распределению (рис. 4, 5, 6). В таких распределениях среднее смещено в сторону максимальных значений.

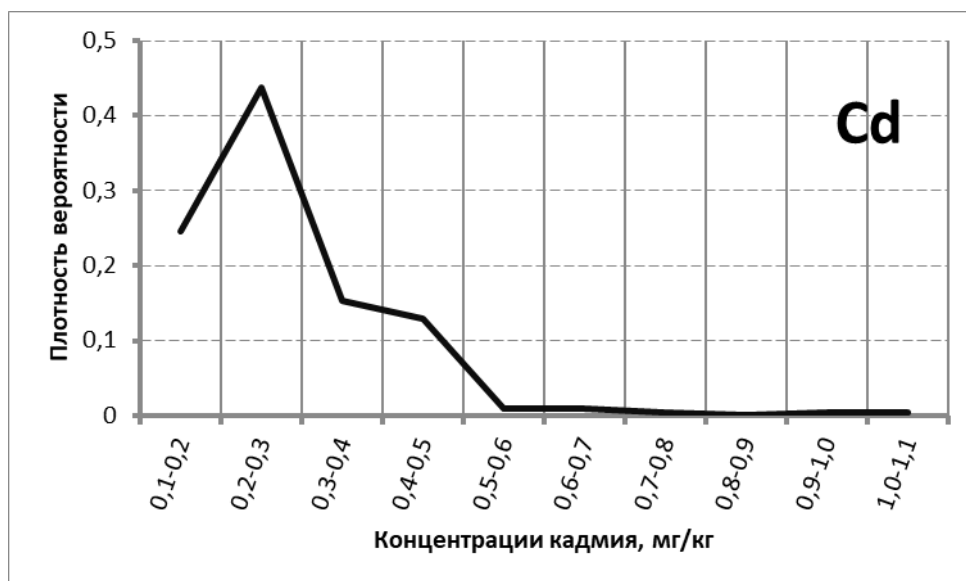


Рис. 4. График плотности распределения вероятности концентрации кадмия.

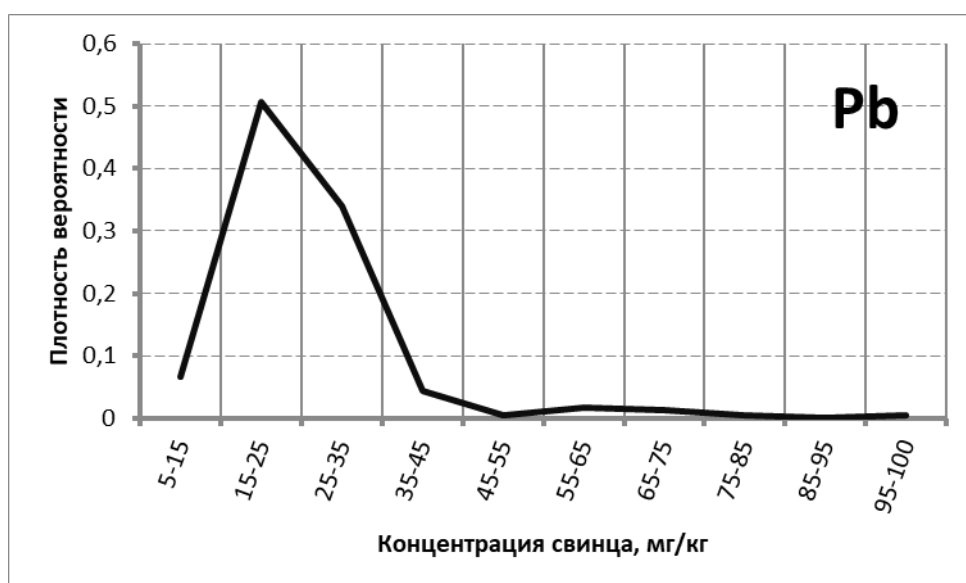


Рис. 5. График плотности распределения вероятности концентрации свинца.

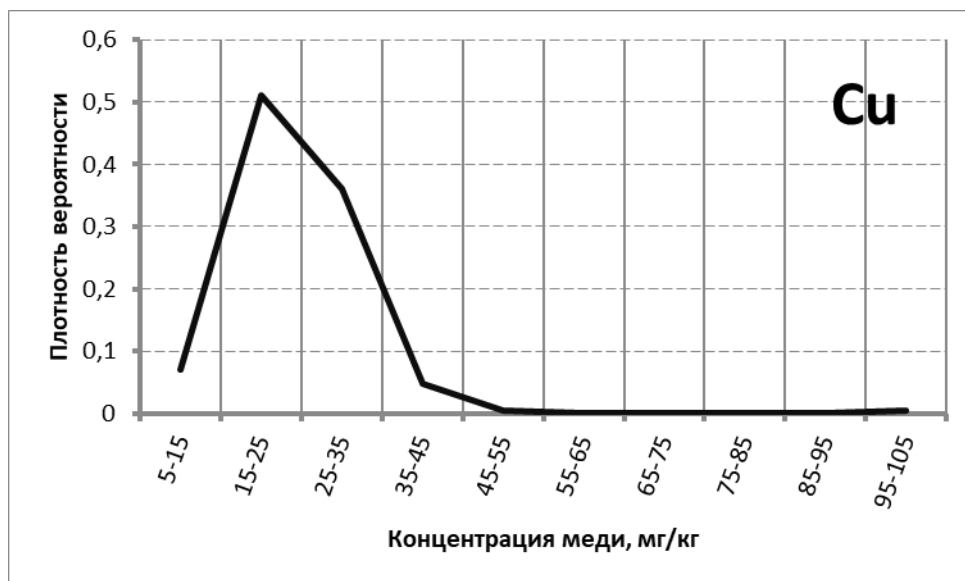


Рисунок 6. График плотности распределения вероятности концентрации меди.

Для этих элементов стандартное отклонение равно 0,13 мг/г для кадмия, 11,88 мг/г для свинца и 8,09 мг/г для меди. Для такого типа распределения не верно будет брать среднеарифметическое по всему массиву данных.

С целью корректного оценивания среднего уровня концентрации кадмия, свинца и меди был применён метод логарифмической нормализации – вычислялся натуральный логарифм значений [7]. Распределение логарифмов значений соответствует нормальному распределению случайной величины (рис.7, 8, 9). Стоит заметить, что так как значения концентрации кадмия меньше 1 то, чтобы не получить отрицательных значений после логарифмирования, все значения были умножены на 100, а полученные в последствии результаты уменьшены в 100 раз.

После этого вычислялись среднее и стандартное отклонение логарифмов, а затем обратным логарифмированием находились их средние (фоновые) значения. Для рассматриваемых элементов разница величин среднего значения концентрации прямых замеров и после обратного логарифмирования в среднем составила 15% в сторону уменьшения, а стандартное отклонение уменьшилось в среднем в 6 раз.

Таким образом, мы получили фоновые концентрации для этих элементов: Cd - 0,16 мг/кг, Pb - 12,86 мг/кг; Cu - 12,30 мг/кг. Соответствующие стандартные отклонения после обратного логарифмирования составили: 1,86 мг/кг для свинца, 1,73 мг/кг для меди и 0,02 мг/кг для кадмия.



Рис. 7. График плотности распределения вероятности натурального логарифма концентраций кадмия.



Рис. 8. График плотности распределения вероятности натурального логарифма концентраций свинца.



Рис. 9. График плотности распределения вероятности натурального логарифма концентраций меди.

К сожалению, вероятно, из-за небольшого количества значений, для концентраций никеля (Ni) и мышьяка (As) не удалось определить вид распределения и среднее значение их концентрации не может отражать реальную картину фоновое содержания этих веществ в почве. Но, возможно, при увеличении количества входных данных используемый метод можно будет применить и к ним.

В таблице 2 приведены полученные средние (фоновые) значения геохимических элементов, определяемых при инженерно-экологических изысканиях, в черноземах Воронежской области. Для сравнения, в этой же таблице приведены ориентировочные значениями фоновых концентраций химических элементов в почвах, приведённых в СП 502.1325800.2021 [1]. С учетом стандартного отклонения полученные фоновые концентрации близки к значениям СП.

Таблица 2.

Значения фоновых концентраций химических элементов, мг/кг

	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu
<i>Средние (фоновые) значения</i>	40	0,16	13	0,18	12
<i>Стандартное отклонение</i>	20	0,02	2	0,04	2
СП 502.1325800.2021, Приложение Д	68	0,24	20	0,20	25

Недостатком проведённой работы можно назвать статистически малое количество значений и неравномерность территориального распределения мест отбора проб. Расширение базы входных данных и охват большей территории сможет сделать результаты аналогичных расчётов полезными в профессиональной деятельности.

Литература

1. СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ: свод правил: утверждён приказом Минстроя России от 16 июля 2021 г. № 475/пр. — Москва, 2021.

2. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: актуализированная редакция СНиП 11-02-96: свод правил: утверждён приказом Минстроя России от 30 декабря 2016 г. № 1033/пр: введён 01.07.2017. — Москва, 2016.

3. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест : методические указания : утверждены

Главным государственным санитарным врачом РФ 27 августа 1999 г. — Москва, 1999.

4. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. Москва. Стандартинформ, 2013.

5. Тюрин, Ю. Н. Теория вероятности и статистика: учебное пособие / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров, И. Р. Высоцкий, И. В. Яценко. — 2-е изд., дораб. — Москва: МЦНМО: АО «Московские учебники», 2004. — 256 с. — ISBN 5-94057-161-1.

6. Национальный атлас почв Российской Федерации / [составители, редакционная коллегия — при наличии]. — Москва: Астрель: АСТ, 2011. — 632 с., ил., карт. — ISBN 978-5-17-075667-4 (ООО «Издательство АСТ»); ISBN 978-5-271-37461-6 (ООО «Издательство Астрель»).

7. Шестаков Ю. Г. Математические методы в геологии: учебное пособие. — Красноярск: Изд-во Красноярского университета, 1988. — 206 с.

магистрант **Краснов Е.Д.,**

научный руководитель **Королёв Э.А.**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет", г. Казань, Россия,
E-mail: zhora-krasnov2002@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ СОВЕТСКОГО РАЙОНА Г. КАЗАНЬ

Продолжающаяся застройка периферийных областей г. Казани привела к необходимости освоения участков со сложными инженерно-геологическими условиями. Строительные компании при обустройстве инженерных сооружений вынуждены учитывать не только высокую расчлененность рельефа, обусловленную овражной эрозией, но и широкое распространение на территориях элювиальных грунтов. Обладая неоднородным сложением и изменяющимися физико-механическими свойствами по разрезу и по простиранию, они осложняют выбор проектных решений при обустройстве фундаментов [1]. В элювиальных грунтах наиболее ярко проявлены просадочные явления, обусловленные снижением прочностных параметров грунтовых толщ. В данной работе рассмотрен один из просадочных участков, расположенный на восточной окраине Советского района г. Казани, где возводятся корпуса производственно-логистического парка «Вертелевка».

Согласно проведенным буровым работам в строение грунтовой толщи до глубины 12,0 м принимают участие коренные породы

среднепермского возраста, перекрытые четвертичными отложениями. Четвертичные отложения представлены в верхней части аллювиально-делювиальным комплексом нежнеплейстоценового возраста мощностью от 0,8 до 4,0 м. В разрезе комплекса залегают слои коричневых легких суглинков и темно-серых мелкозернистых песков с прослойками светло-коричневых супесей. Пески в различной степени водонасыщенные от слегка увлажненных до водоносных. Под ними расположены элювиально-делювиальные комплексы, представленные коричневыми тяжелыми тугопластичными суглинками и красновато-коричневыми полутвердыми глинами с редкими прослойками выветрелых мергелей. Вскрытая мощность комплекса не постоянная, варьирует от 0,6 до 3,0 м.

В основание покровных четвертичных отложений залегают выветрелые породы уржумского яруса среднепермской системы. По характеру преобразования и своему сложению они представляют собой элювиальную толщу, сложенную разуплотненными, в различной степени диспергированными грунтами. В разрезах отмечается переслаивание красно-коричневых тугопластичных суглинков с прослойками зеленовато-серых доломитовых мергелей, разрушенных до состояния дресвы и суглинков. Ниже залегают кирпично-красные тяжелые глины, переходящие в темно-бурые разрушенные до рыхлого состояния мелкозернистые песчаники, и светло-серые известняки, преобразованные в дресву с суглинистым заполнителем (40-45%). Пески и крупнообломочные грунты в различной степени увлажненные и водонасыщенные. Вскрытая мощность погребенного элювия составляет 1,2-9,0 м. В пределах участка исследования элювиальная толща развита неравномерно, в северной части их толщины составляют 0,2-0,6 м, в юго-восточной части – 6,0-9,0 м.

Лабораторные исследования инженерно-геологических элементов площадки изыскания показали относительно неплохие физико-механические свойства грунтов элювиальной толщи. Все грунты при нагрузке до 0,30 МПа являются непросадочными.

Суглинки дезинтегрированные в кровле уржумского яруса характеризуются следующими свойствами. Плотность в естественном сложении 1,80-1,94 г/см², плотность в сухом состоянии – 1,47-1,61 г/см², плотность частиц – 2,71-2,72 г/см², пористость – 33,40-40,96%, коэффициент пористости – 0,51-0,70, верхний предел пластичности – 30-38%, нижний предел пластичности – 16-25%, число пластичности – 0,10-0,13 д.е., угол внутреннего трения – 22,0-23,20 град., модуль деформации – 19,70-26,08 МПа, сцепление – 0,023-0,031 МПа.

Выветрелые до состояния песка мелкозернистые песчаники уржумского яруса обладают следующими физическими характеристиками. Их плотность в естественном состоянии составляет 1,92-1,94 г/см², плотность в сухом состоянии – 1,52-1,53 г/см², плотность частиц – 2,66 г/см², пористость – 41,84-42,36%, коэффициент пористости – 0,72-0,74,

угол внутреннего трения – 28,0-31,2 град., модуль деформации – 22,90-23,01 МПа, сцепление – 0,003-0,004 МПа.

Согласно полученным результатам, суглинки в верхней части разреза уржумского яруса обладают хорошими прочностными свойствами при весьма низкой проницаемости. Выветрелые песчаники, несмотря на низкие значения механических параметров, в условиях естественного залегания также пригодны для строительства.

В соответствие с СП 11-105-97 часть I (приложение Б) площадка изыскания под строительство производственно-логистического парка «Вертелевка» относиться ко II (средней сложности) категории [2]. Все грунты могут являться основаниями для свайного фундамента.

Литература

1. Латыпов А.И., Гараева А.Н., Королев Э.А. Особенности строения и формирования элювиальных отложений в карбонатно-терригенных грунтовых массивах Бугульминско-Белебеевской возвышенности // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2023. – Том 9(75). – № 4. – С. 62 – 75.

2. СП 11-105-97. Часть I. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – М.: Стандартинформ, 1998. – 49 с.

магистрант 2 курса **Мингазова А. М.**

научный руководитель **Ибрагимов Р. Л.**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет
Институт геологии и нефтегазовых технологий, г. Казань, Россия.*

e-mail: ming.aliya.02@mail.ru

ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АЗНАКАЕВСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

В статье представлены результаты прогнозной оценки ресурсного потенциала пресных подземных вод Азнакаевского района Республики Татарстан за пределами утверждённых участков недр. На основе анализа геолого-структурных, литолого-фациальных и гидродинамических условий выделены перспективные зоны для постановки поисково-оценочных работ. Методология включает комплексный анализ фондовых материалов, геоморфологическое дешифрирование и структурно-гидрогеологическое моделирование. По результатам исследований составлена схема перспективности территории и предложена этапная программа освоения новых площадей для обеспечения устойчивого водоснабжения района.

Азнакаевский район, являясь одним из промышленно-аграрных центров юго-востока Татарстана, сталкивается с проблемой диспропорции в распределении ресурсов подземных вод. Существующая ресурсная база, сосредоточенная на нескольких разведанных месторождениях (преимущественно для г. Азнакаево), не полностью обеспечивает нужды удалённых сельских поселений и не учитывает перспективы социально-экономического развития. Актуальным становится вопрос о прогнозной оценке неосвоенного потенциала с целью выявления новых перспективных площадей.

Целью работы является проведение прогнозной количественно-качественной оценки ресурсов подземных вод на слабоизученных территориях Азнакаевского района и обоснование приоритетных направлений для их освоения.

Прогнозная оценка базировалась на комплексе взаимодополняющих методов:

Анализ фондовых материалов: Изучение отчетов по геологической съемке, данным бурения глубоких нефтяных и мелких водозаборных скважин, материалам геофизических исследований.

Структурно-тектонический анализ: Выявление локальных поднятий (валов, куполов), зон трещиноватости и разрывных нарушений в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, которые контролируют улучшенные фильтрационные свойства коллекторов.

Литолого-фациальный анализ: Картирование областей развития наиболее проницаемых разностей пород (крупнозернистых песчаников уфимского яруса, трещиноватых известняков казанского яруса, аллювиальных галечников).

Геоморфологический и гидрографический анализ: Выявление зон активной инфильтрации (плакорные водоразделы с маломощным покровом), а также древних погребённых долин и аллювиальных фаций, являющихся локальными высокодебитными коллекторами.

Гидрогеологическое моделирование по аналогии: Экстраполяция параметров (удельные дебиты, водопроницаемость) с изученных участков на геологически подобные, но неразведанные площади.

На основе интеграции данных выделены три категории перспективных зон, различающихся по целевому горизонту, глубине залегания и ожидаемым ресурсам.

Выделение перспективных зон и их характеристика

1. Зона I (Высокой перспективности): Долинно-аллювиальные комплексы.

Локализация: Долины рек Стярле, Мелля, Ямашка шириной 1,5-3 км, особенно в местах развития надпойменных террас.

Целевой объект: Современные и древнеаллювиальные водоносные горизонты в песчано-галечных отложениях.

Прогнозные параметры: Глубина – 15-40 м, ожидаемая водопроницаемость – 50-150 м²/сут, удельные дебиты скважин – 3-10 л/с. Прогнозные ресурсы (ориентировочно): 5-15 тыс. м³/сут на 1 км долины.

Обоснование: Прямая связь с поверхностным стоком, высокие фильтрационные свойства, постоянное возобновление.

Риски: Уязвимость к загрязнению, сезонные колебания уровня.

2. Зона II (Средней перспективности): Структурно-литологические ловушки в уфимско-казанских отложениях.

Локализация: Пологие склоны и периклинальные замыкания Азнакаевской и Тумутукской структурных террас.

Целевой объект: Пластово-трещинные воды песчаников уфимского и известняков казанского ярусов в зонах их выклинивания или литологического замещения.

Прогнозные параметры: Глубина – 80-180 м, водопроницаемость – 20-80 м²/сут, удельные дебиты – 1-5 л/с. Прогнозные ресурсы: 0,5-2,0 тыс. м³/сут на локальной площади 5-10 км².

Обоснование: Наличие естественных структурных и литологических ловушек для подземных вод, относительная защищенность от загрязнения.

Риски: Неоднородность коллектора, возможность повышенной минерализации на крыльях структур.

3. Зона III (Поисково-оценочная): Глубокие зоны трещиноватости доюрского фундамента.

Локализация: Участки пересечения региональных линеаментов, выделяемых по данным дистанционного зондирования и геофизики.

Целевой объект: Трещинно-жильные воды в зонах тектонической нарушенности верхней части палеозойского разреза.

Прогнозные параметры: Глубина >200 м, дебиты крайне неравномерны (от 0.1 до 5+ л/с). Прогноз носит качественный характер.

Обоснование: Опыт вскрытия высокодебитных трещинных вод в аналогичных условиях на соседних территориях.

Риски: Высокая стоимость и риск получения непродуктивной скважины.

Количественная прогнозная оценка ресурсов

Суммарные прогнозные ресурсы (категория РЗ) по Зонам I и II для Азнакаевского района ориентировочно оцениваются в 20-35 тыс. м³/сут. Это сопоставимо с суммарными эксплуатационными запасами всех currently утверждённых месторождений района. Наиболее значимый вклад (до 70%) дают долинно-аллювиальные комплексы (Зона I).

Важно отметить, что данная оценка является перспективной и требует подтверждения поисковым бурением. Её ценность – в выявлении направлений для прироста запасов.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика перспективных зон.

Критерий	Зона I (Долинная)	Зона II (Структурная)	Зона III (Глубокая)
Целевой горизонт	Аллювиальный	Уфимско-казанский	Трещинный фундамент
Глубина, м	15-40	80-180	>200
Уд. дебит, л/с	3-10	1-5	0.1-5+ (неравн.)
Ресурсы, тыс. м ³ /сут	5-15 (на км)	0.5-2.0 (на уч-к)	Не оценены
Преимущества	Высокая продуктивность, малые глубины	Защищенность, стабильность	Потенциал высоких дебитов
Недостатки	Уязвимость к загрязнению	Неоднородность, стоимость	Высокий риск

Перспективы и этапы освоения новых площадей

Освоение перспективных зон должно вестись поэтапно, с минимизацией финансовых рисков:

Приоритетный этап (1-2 года): Оптимизация Зоны I.

Задача: Обеспечение водой приречных сёл (Чалпы, Учалле, Ямашка).

Действия: Детальная электроразведка (ВЭЗ) по профилям поперёк долин для картирования русловой оторочки → бурение одиночных поисково-оценочных скважин → организация компактных водозаборов с строгими ЗСО.

Основной этап (3-5 лет): Разведка Зоны II.

Задача: Создание резервных источников для централизованного водоснабжения группы поселений.

Действия: Переинтерпретация данных нефтяной сейсморазведки для уточнения структуры → заложение кустов разведочных скважин на наиболее подготовленных площадках (например, в районе с. Тумутук) → подсчёт запасов.

Долгосрочный этап: Мониторинг и изучение Зоны III.

Задача: Накопление информации для стратегического планирования.

Действия: Включение параметров глубоких горизонтов в программу регионального мониторинга, анализ керна старых скважин.

Прогнозная оценка выявила значительный неосвоенный ресурсный потенциал подземных вод Азнакаевского района, сопоставимый по масштабу с уже разведанным. Ключевые перспективы связаны с долинно-аллювиальными комплексами и структурными ловушками в уфимско-казанских отложениях.

Освоение новых площадей позволит решить проблему децентрализованного водоснабжения удалённых населённых пунктов и создать резервные источники, повышающие гидрогеологическую и экологическую безопасность района. Для реализации потенциала необходима целенаправленная государственная или муниципальная программа геологического изучения недр, так как коммерческий интерес к небольшим водным месторождениям ограничен. Рекомендуемая этапность работ минимизирует риски и обеспечивает последовательный прирост запасов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на применение ГИС-технологий для создания цифровой прогнозно-гидрогеологической модели района, что повысит точность оценок.

Литература:

1. Дятлова В.К. Отчет по эколого-гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000 на юго-востоке Татарстана (листы N-39-X, XI, XII, XVI, XVII, XVIII), Средне-Волжская ГРЭ, 1998.
2. Гидрогеология СССР. Том XXXV. Татарская АССР. – М.: Недра, 1970.
3. Карта гидрогеологического районирования территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 (для ведения мониторинга подземных водных объектов). Унифицированные схемы объектов гидрогеологической стратификации территории Российской Федерации (артезианских бассейнов). ФГУГП «Гидроспецгеология». Москва. 2011 г.
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
5. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Санитарные правила и нормы. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения».
6. Методические рекомендации по количественной оценке прогнозных ресурсов подземных вод. – М.: Роснедра, 2007.
7. Анисимов Б.В., Сидоркин В.В. Разведка пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Азнакаево в районе Октябрь-Буляк, контроль и авторский надзор за бурением скважин. ТатНИПИнефть. Бугульма-Москва, 1999.
8. Боровский Б.В., Язвин Л.С., Закутин В.П. Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами. Методические рекомендации. М., ГИДЭК, 2002.

магистрант 1 курса **Закусилова М. П.**,
научный руководитель **Косинова И. И.**
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования "Воронежский государственный университет", г. Воронеж, Россия*
E-mail: mzakusil@mail.ru, kosinova777@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Воронежское водохранилище, образованное в 1972 году на реке Воронеж, представляет собой крупнейший искусственный водоём в Центральном Черноземье России. Его уникальность и, одновременно, уязвимость обусловлены расположением в черте крупного городского образования – города Воронежа. Такое положение определяет исключительно высокую антропогенную нагрузку на акваторию и водосборный бассейн. Одним из существенных факторов, формирующих гидрологический режим и экологическое состояние водоёма, являются атмосферные осадки и индуцируемый ими поверхностный сток. Актуальность исследования влияния данного фактора связана с необходимостью оценки вклада рассеянных источников загрязнения в общий баланс загрязняющих веществ и разработки научно обоснованных мер по охране водного объекта.

Воронежское водохранилище относится к русловым проточным водоёмам с сезонным регулированием стока. Площадь его водного зеркала составляет около 70 км². Важной гидрологической особенностью является замедленный водообмен, что способствует накоплению загрязняющих веществ и создаёт неблагоприятные условия для естественного самоочищения. Основными источниками питания водохранилища служат речной сток реки Воронеж, подземные (грунтовые) воды и непосредственно атмосферные осадки, выпадающие на акваторию. Однако косвенное влияние осадков, проявляющееся через формирование стока с обширной водосборной территории, оказывается более значимым для качества вод.

Атмосферные осадки (дождевые и талые воды) играют двоякую роль. Во-первых, они напрямую пополняют объем водоёма. Во-вторых, и это наиболее существенно с экологической точки зрения, они являются движущей силой формирования поверхностного стока. В периоды половодья и интенсивных ливней дождевые и талые воды формируют основной объем стока с урбанизированной, сельскохозяйственной и естественной частей водосбора. Этот сток, транспортируя с территории накопленные загрязнения, становится главным путём их поступления в водохранилище. Атмосферные осадки сами по себе могут содержать загрязняющие вещества (кислотные дожди, пылевые выпадения), но их

основное негативное воздействие реализуется опосредованно – через смыв загрязнений с поверхности водосбора. Ливневый сток с городских территорий (с улиц, промышленных площадок, кровель) и сельскохозяйственных угодий (полей, ферм) формирует мощный поток, поступающий в водоём как через организованные ливневые выпуски, так и путём неорганизованного сброса.

С данным стоком в Воронежское водохранилище ежегодно поступают значительные массы загрязняющих веществ:

1. Взвешенные вещества (продукты эрозии почв, твёрдые частицы с асфальтовых покрытий).
2. Нефтепродукты (с автомобильных дорог, АЗС, промплощадок).
3. Биогенные элементы (азот и фосфор) – с сельхозугодий (удобрения), с городских территорий (бытовые стоки, мойка машин), приводящие к эвтрофикации.
4. Тяжёлые металлы (свинец, цинк, кадмий и др.), поступающие с транспортными выбросами и промышленными объектами.

Особую опасность представляет диффузное (рассеянное) загрязнение, источниками которого являются рассредоточенные на большой площади объекты: городские кварталы, сельскохозяйственные поля, дороги. В отличие от точечных источников, контроль и очистка диффузного стока крайне затруднены. В многоводные годы, как показывают исследования, доля загрязняющих веществ, поступающих с диффузным стоком в Воронежское водохранилище, может достигать 70–90% от общего объёма. Это приводит к систематическому загрязнению водоёма, накоплению поллютантов в донных отложениях, которые становятся вторичным источником загрязнения, и общему устойчивому ухудшению качества как поверхностных, так и связанных с ними подземных вод.

Выводы:

1. Атмосферные осадки являются ключевым климатическим фактором, опосредованно определяющим качество поверхностных вод Воронежского водохранилища через формирование ливневого и диффузного стока.
2. Сток, индуцируемый осадками, служит основным путём поступления широкого спектра загрязняющих веществ (взвешенных частиц, нефтепродуктов, биогенов, тяжёлых металлов) с водосборной территории.
3. Диффузное загрязнение, формирующееся на урбанизированных и аграрных ландшафтах, составляет преобладающую долю в общей массе поступающих в водоём загрязнителей, что делает его центральной экологической проблемой.

4. Для кардинального улучшения качества воды в Воронежском водохранилище необходима приоритетная реализация комплекса водоохраных мероприятий. Данный комплекс должен включать: развитие систем сбора и очистки ливневых сточных вод с городской территории; внедрение почвозащитных и водоохраных агротехнологий на сельхозугодьях; создание берегозащитных и фильтрующих полос; снижение антропогенной нагрузки на всю водосборную площадь.

При разработке водоохраных мероприятий по предотвращению загрязнения водных объектов поверхностным стоком, прежде всего, должны определяться территории, сток с которых необходимо подвергать очистке. На очистные сооружения должен отводиться сток с участков, отличающихся значительными загрязняющимися примесями (площадки промышленных предприятий, районы с интенсивным движением транспорта и пешеходов, наличием многоэтажной застройки, крупных транспортных магистралей, торговых центров).

Охрана Воронежского водохранилища – важная составная часть комплексной работы по охране водоёмов лесостепной зоны от загрязнения и истощения. Причём, охрана водохранилища от техногенного загрязнения является самой главной проблемой оптимизации водопользования, поскольку связана с безопасностью питьевого водоснабжения. Загрязнение водохранилища адекватно отражается и на качестве подземных водоносных горизонтов.

Литература

1. Курдов А.Г. Воронежское водохранилище. – Воронеж: [б.и.], 1973. – 145 с.
2. Данные мониторинга ФГУ «Воронежгеология» за период 1985-2003 гг..
3. Косинова И.И. Комплексная эколого-геологическая система мониторинга за состоянием природных объектов в районе г. Воронежа и Воронежского водохранилища / И.И. Косинова, А.В. Коробкин // Экологические и правовые аспекты эксплуатации водохранилищ: Материалы 1 Межд. науч.-практ. конф. (26 - 28 февраля 2003г., Воронеж). – Воронеж, 2003. - С. 236-241.
4. А.И. Григорьев, А.В. Коробкин, И.И. Косинова // Экологические и правовые аспекты эксплуатации водохранилищ: Материалы 1-ой Межд. науч.-практ. конф. (26 - 28 февраля 2003г., Воронеж). – Воронеж, 2003. – С. 199-207.
5. Бабкин В.Ф. Экологические проблемы состояния Воронежского водохранилища / В.Ф. Бабкин, В.Д. Журавлев, И.В. Журавлева // Экологические и правовые аспекты эксплуатации водохранилищ: Материалы 1-ой Межд. науч.-практ. конф. (26 - 28 февраля 2003г., Воронеж). - Воронеж, 2003. - С. 55 — 60.

6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Воронежской области» / Управление Росприроднадзора по Воронежской области. – Воронеж.

7. Методы оценки диффузного загрязнения водных объектов / под ред. Н.И. Алексеевского. – М: МГУ, 2008. – 180 с.

8. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

магистрант 2 курса **Плешков Р. С.,**

научный руководитель **Зинюков Ю. М.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет", г. Воронеж, Россия,

E-mail: Roman2148@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ РУДНОЙ ЖИЛЫ (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)

Камчатский край относится к регионам со сложными горно-геологическими условиями: высокая сейсмичность (9–10 баллов), наличие тектонических нарушений, приуроченность рудопроявлений к долинам рек. При гидрогеологических прогнозах необходимо учитывать роль дискретных проводящих структур – зон разломов, дробления и перематия пород [1].

Цель настоящей работы: на примере модельного участка расположения жилы «Е» количественно оценить прогнозные водопритоки при подземной отработке жильного месторождения на основе комплекса натурных гидрогеологических исследований и численного моделирования геофильтрации.

Модельный участок расположен в Усть-Камчатском районе Камчатского края, в верховьях реки Быстрой (правобережье), в 60 км к западу от п. Усть-Камчатск. Участок приурочен к долине правого притока р. Быстрой (руч. Логовой), дренирующего западные склоны Козыревского хребта. Участок расположен в долине постоянного водотока (расход воды 3–5 м³/с). Рудная жила залегает непосредственно под руслом реки на глубине 2–120 м.

Геологический разрез представлен (снизу вверх): андезитовыми туфобрекчиями паратунской свиты (Р₃N₁pr), базальтом алнейской серии (N₂al), ледниковыми валунно-галечниковыми отложениями (g,fIII-2) и современным аллювием (aIV).

В пределах участка выделяются два тектонических нарушения: F1 – субширотное, сопряжённое с жилой; F2 – трансверсальное, секущее жилу и непосредственно выходящее в русло реки (рис.1). Оба нарушения представлены зонами дробления и перемещения пород, обводнены.



Рис.1. Карта с системой разломов, учтенными при разработке модели

Для параметризации гидрогеологической модели выполнено бурение 4 гидрогеологических скважин глубиной до 150 м с проведением 29 поинтервальных опытных откачек. Специальными работами охвачены зоны разломов F1, F2 и контакт жилы (интервалы опробования длиной 10–15 м). На основе обработки результатов откачек определены коэффициенты фильтрации (Кф) основных гидрогеологических элементов (табл. 1).

Таблица 1

Результаты поинтервальных опытных откачек

Гидрогеологический элемент	Расчетный коэффициент фильтрации (Кф), м/сут
Современный аллювий	2-6
Кора выветривания	0,04-0,8
Массив вмещающих пород	0,1-0,6
Тектонический разлом	5-10
Зона контакта жилы	3-6

Дополнительно использованы фактические данные о водопроявлении при проходке разведочной выработки: из её стенок пробурено 5 наклонно-

восстающих скважин суммарной длиной вскрытия разлома F1 50 м, фактический приток составил 600 м³/ч. Скважины были перекрыты, поскольку дальнейшая откачка такого объёма требовала неоправданно высоких эксплуатационных затрат на электроэнергию.

Построение и решение фильтрационной задачи выполнены с использованием расчётного ядра MODFLOW 6. Принята двухмерная плановая постановка. Расчётная сетка первоначально 100×100 ячеек (20×20 м), в зонах разломов выполнено локальное измельчение до 2×2 м для корректного воспроизведения геометрии нарушений. Граничные условия: река задана напором, соответствующим её уровню; скважины и дренажная выработка – расходами и условиями свободного истечения. Решение нелинейных уравнений выполнено итерационным методом.

Сценарий А (калибровочный). Воспроизведён фактический приток 600 м³/ч (14 400 м³/сут) из 5 скважин. Цель – проверка наличия гидравлической связи с рекой. Водобалансовый расчёт показал, что 100 % откачиваемой воды поступает из реки через систему нарушений F2 → F1. Модель адекватно воспроизвела натурные данные, что позволило использовать её для прогнозных расчётов.

Сценарий Б (прогноз промышленной отработки). Вскрытие жилы линейной дреной длиной 200 м, расположенной вдоль разлома F1. По результатам моделирования установившийся приток составил 2400 м³/ч (57 600 м³/сут), что соответствует удельному водопритоку 3,3 л/(с·м). На рис. 2 приведена карта распределения напоров, подтверждающая локализацию потока в зоне нарушения F2.

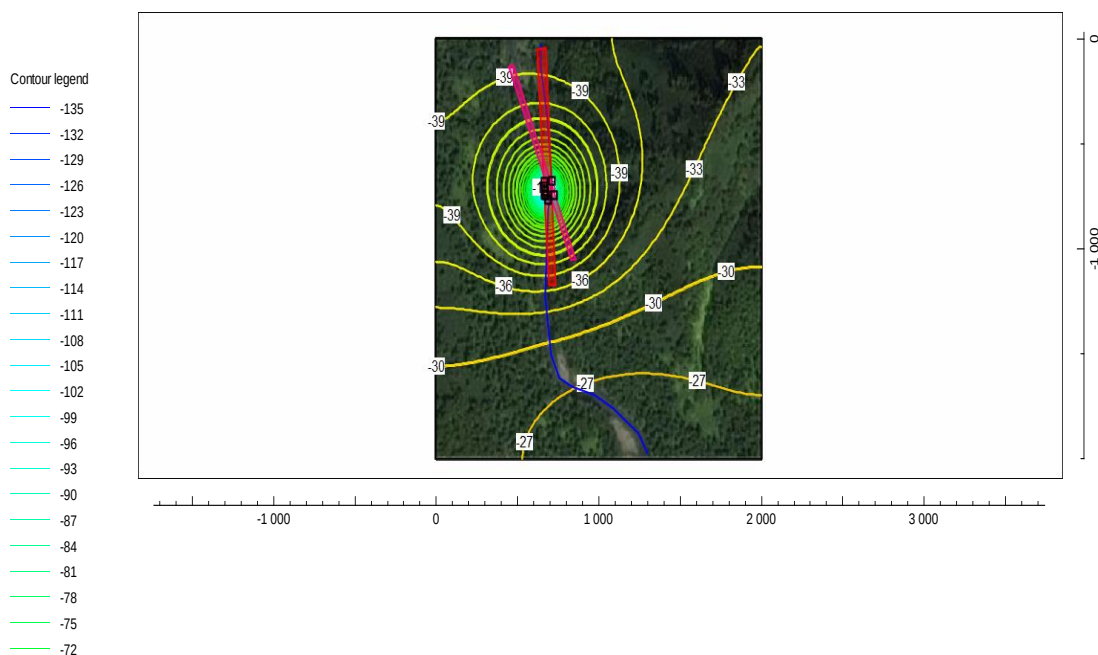


Рис. 2. Схематическое распространение депрессионной воронки

Для оценки устойчивости прогноза выполнены многовариантные расчёты с вариацией Кф зоны F2. Установлено, что даже при снижении Кф F2 до консервативных значений удельный приток остаётся значительным. Изменение параметров выработки слабо влияет на результат, что доказывает определяющую роль природной гидрогеологической системы, а не конструкции выработки.

Приток 2400 м³/ч требует создания мощной водоотливной системы:

- ёмкость главных водосборников должна составлять не менее 4-часового притока (согласно ФНиП № 567) – около 9600 м³;
- насосная станция главного водоотлива должна обеспечивать подачу 2400 м³/ч на высоту 100 м с суммарной установленной мощностью электродвигателей порядка нескольких тысяч кВт;
- сброс такого объёма шахтных вод потребует расширение очистных сооружений.

Капитальные и эксплуатационные затраты на водоотлив и очистку достигают величин, которые не могут быть компенсированы доходом от реализации руды в текущих экономических условиях.

Первоначальным проектом предполагалось оставить подрусловой целик мощностью 50 м. Такой целик обеспечивает механическую безопасность выработок от валового прорыва воды и обрушения кровли, однако не влияет на величину фильтрационного притока, поскольку основная вода поступает по нарушению F2, минуя целик. Увеличение мощности целика не решает гидрогеологической проблемы, а лишь увеличивает потери руды.

Содержание полезного компонента в жиле позволяет рассматривать её как потенциально промышленный объект. Однако в настоящее время у недропользователя имеются более богатые и доступные для отработки участки, что делает освоение данной рудной жилы неконкурентоспособным с учётом высоких затрат на водоотлив.

Рассмотрена возможность борьбы с водопритоками «выше по потоку»:

1. Изоляция русла реки – технически сложна из-за активного водотока и наличия обходной фильтрации; затраты значительны, эффект не гарантирован.
2. Цементация зоны F2 – требует бурения сети скважин и закачки большого объёма тампонажного раствора; стоимость высока, а срок службы завесы в зоне дробления ограничен.

На основе представленных материалов предложена рекомендация отложить разработку на неопределённый срок в связи с совокупностью неблагоприятных горно-геологических условий и наличием более рентабельных объектов. Запасы могут быть переведены в забалансовые или законсервированы до появления экономически эффективных технологий отработки в подобных условиях.

Литература

1. «Гидрогеология СССР: Т. 29: Камчатка, Курильские и Командорские острова / ред. Голева Г. А. / М-во геологии СССР, ВНИИ гидрогеологии и инженер. геологии [и др.] ; гл. ред. Сидоренко А. В. – Москва : Недра, 1972. – 364 с.
2. Harbaugh A.W. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – the Ground-Water Flow Process. Reston: USGS, 2005. – 253 p.
3. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 №505 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твёрдых полезных ископаемых»».

магистрант 1 курса **Лужаков Н. В.**

научный руководитель **Зинюков Ю. М.**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

“Воронежский государственный университет”, г. Воронеж, Россия,

E-mail: nikita120r@gmail.com

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА НА ТЕРРИТОРИИ БОБРОВСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В административном отношении Бобровский район расположен в центральной части Воронежской области на стыке Среднерусской возвышенности и Окско-Донской впадины. Административным центром района является г. Бобров. Сопредельными районами являются, с севера и северо-запада – Каширский и Панинский районы, с северо-востока – Аннинский и Таловский районы, с юга и юго-востока – Павловский и Бутурлиновский районы.

Гидросеть района принадлежит бассейну реки Дон. Основными водными артериями района являются р. Битюг и р. Икорец.

В геологическом отношении территория Бобровского района имеет трехъярусное строение. Кристаллический фундамент сложен дислоцированными породами архея, прорванными интрузиями архейского и протерозойского возраста. Перекрывающий его осадочный чехол представлен девонскими отложениями и залегающими на них с угловым несогласием породами мела, палеогена, неогена и четвертичными образованиями [1].

В геологическом разрезе на территории Бобровского района Воронежской области выделено двадцать гидрогеологических подразделения, которые представлены комплексами и горизонтами.

Существующее централизованное хозяйственно-питьевое водоснабжение территории Бобровского района базируется на эксплуатации водоносного неоген-четвертичного терригенного комплекса и альб-сеноманского терригенного горизонта (рис. 1).

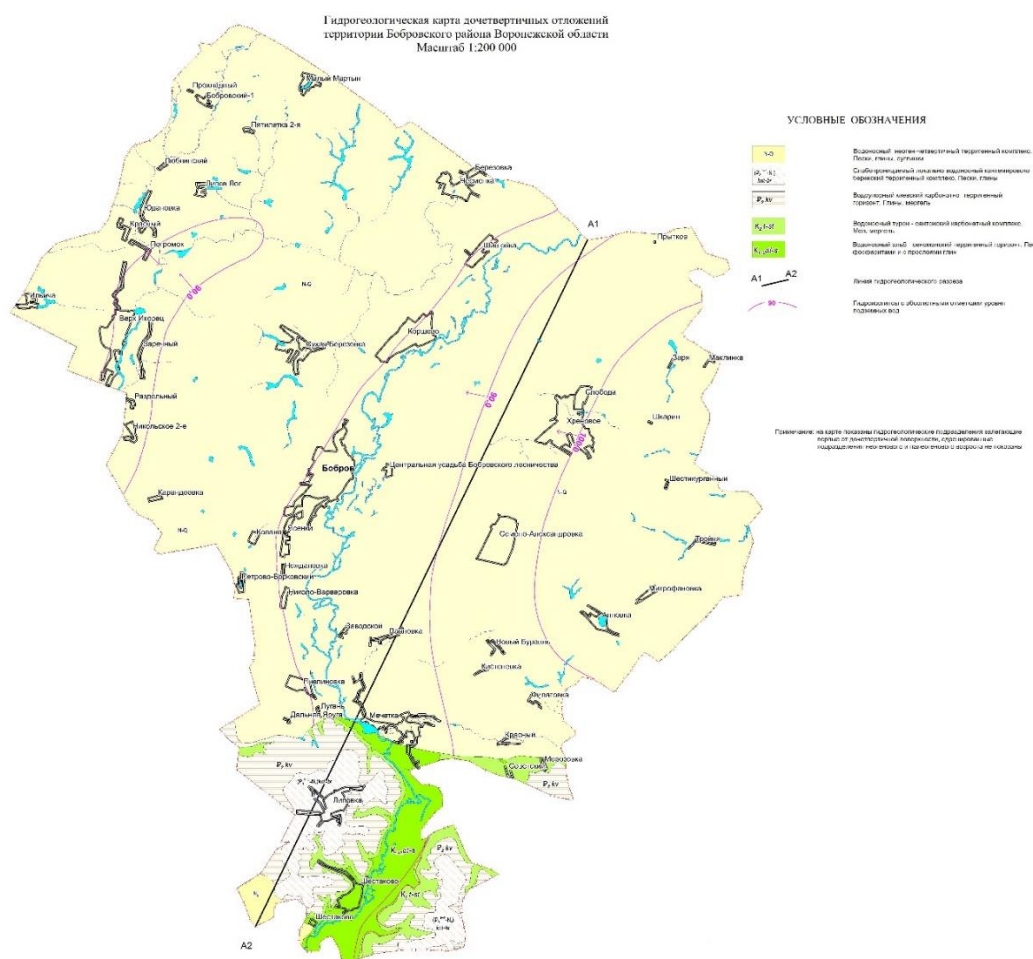


Рис. 1. Гидрогеологическая карта дочетвертичных отложений

Однако основная эксплуатационная нагрузка приходится на водоносный неоген-четвертичный терригенный комплекс, который имеет практически повсеместное распространение в пределах Бобровского района, отсутствуя лишь в южной его части.

В результате систематизации и обработки данных химических анализов воды и анализе особенностей гидрогеологических условий на территории Бобровского района было выделено два типа вод – это гидрокарбонатный кальциево-натриевый или натриево-кальциевый и гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый или натриево-кальциевый и построена схематическая гидрогеохимическая карта.

Самым распространенным типом вод является гидрокарбонатный кальциево-натриевый или натриево-кальциевый. Воды данного типа в основном пресные, от умеренно жёстких до очень жёстких, от нейтральных до слабощелочных. Из анионов здесь преобладает гидрокарбонат-ион, а из катионов кальций и натрий, в некоторых скважинах типобразующим катионом становится ион магния. Содержание железа во всех водопунктах превышает ПДК ($0,3 \text{ мг/дм}^3$) и достигает $1,34 \text{ мг/дм}^3$.

Второй тип – гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый или натриево-кальциевый имеет очаговое распространение. Воды данного типа от пресных до солоноватых, так как в 22 водопунктах минерализация превышает ПДК (1 г/дм^3). Воды от слабокислых до слабощелочных. Здесь из анионов преобладают гидрокарбонат-ион и сульфат-ион, а из катионов кальций и натрий. По жёсткости воды от умеренно жёстких до жёстких, так как в половине водопунктов данного типа данный показатель превышает ПДК и достигает 12 ммоль/дм^3 . Во всех водах второго типа отмечается повышенное содержание железа, которое достигает 4 мг/дм^3 при норме $0,3 \text{ мг/дм}^3$.

Содержание соединений азотной группы в водах и первого и второго типов не превышают ПДК в соответствии с СанПиНом 2.1.3684-21 [2].

Результаты баланса катионов и анионов можно наблюдать на рис.2.

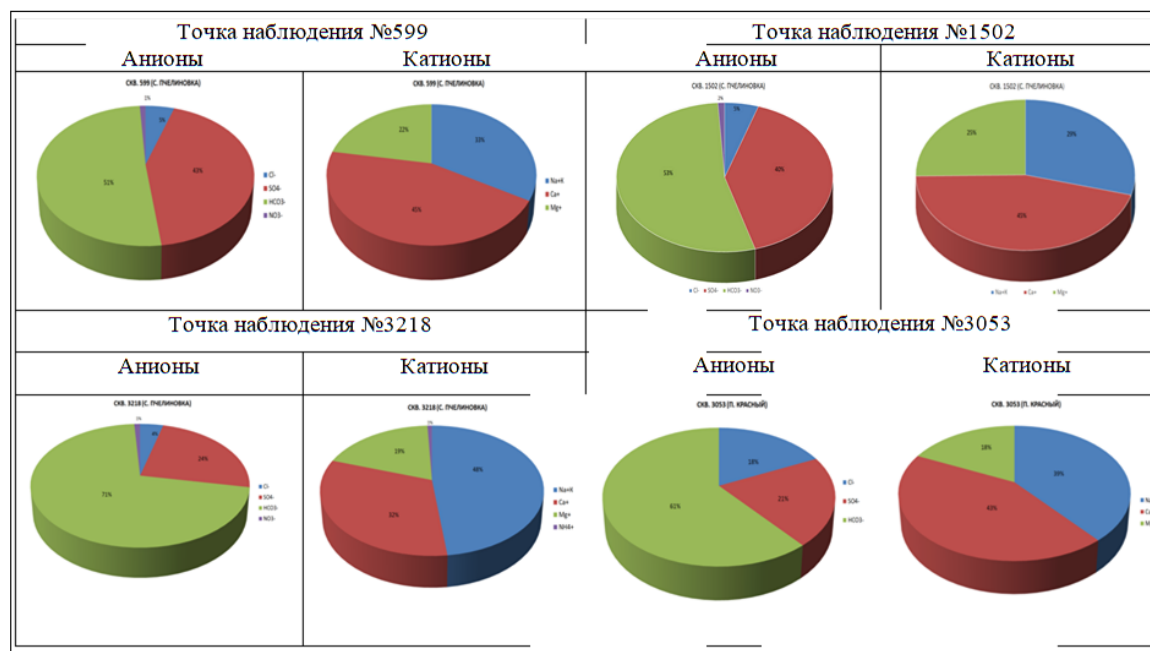


Рис. 2 Баланс катионов анионов в отдельных точках наблюдения

Анализируя катионный и анионный состав подземных вод, можно отметить следующее. Процентная доля в катионном составе кальция изменяется от 17 %-экв. (т.н. №3432 с. Хреновое) до 54 %-экв. (т.н. №4212 с. Сухая Березовка), магний от 9 %-экв. (т.н. №9326 п. Красный) до 38 %-

экв. (т.н. №4061 с. Верхний Икорец), натрий от 18 %-экв. (т.н. №3741 с. Пчелиновка) до 66 %-экв. (т.н. №3432 с. Хреновое). Процентная доля в анионном составе гидрокарбоната изменяется от 44 %-экв. (т.н. №4344 с. Анновка) до 81 %-экв. (т.н. №52870 с. Юдановка), сульфат от 10 %-экв. (т.н. №3296/9 с. Коршево) до 48 %-экв. (т.н. №28173 с. Николо-Варваровка), хлор от 1 %-экв. (т.н. №52869 с. Юдановка) до 25 %-экв. (т.н. №3734 с. Чесменка), нитраты от 1 %-экв. (т.н. №599 с. Пчелиновка) до 4 %-экв. (т.н. №4172 с. Анновка).

Таким образом, следует отметить, что качество воды основного эксплуатационного неоген-четвертичного водоносного комплекса зачастую не соответствует требованиям СанПиНом 2.1.3684-21 из-за превышений по минерализации, повышенной концентрации общего железа, а также по показателю общей жесткости.

В виду того, что данный водоносный комплекс широко используется для питьевого водоснабжения, то превышения ПДК по жесткости и содержанию железа не должны остаться без внимания. Поэтому в качестве рекомендаций при использовании вод для централизованного водоснабжения, нужно проводить умягчение и обезжелезивание воды.

Литература

1. Геология СССР. Том VI. Брянская, Орловская, Курская, Воронежская и Тамбовская области. Часть 1. / А.А. Дубянский, И.И. Малышев, С.А. Хакман. – Государственное издательство геологической литературы, Москва, 1949. – 340 с.

2. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территории городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». М., Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. 2021.