

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/54NZVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Герасимов, А. Ю. Минеральный состав современных просадочных отложений в основании строящейся автомобильной дороги А 289 / А. Ю. Герасимов, А. А. Лавруевич // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/54NZVN223.pdf>

For citation:

Gerasimov A. Yu., Lavrusevich A.A. Mineral composition of modern subsidence sediments at the base of the road A 289 under construction. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 54NZVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/54NZVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 624.131.23

Герасимов Александр Юрьевич

ООО «Гипростроймост-Геотех», Москва, Россия
Комплексный главный инженер проекта

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

Аспирант, соискатель

E-mail: alexandgerasimovmo@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6784-924X>

Лавруевич Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
Москва, Россия

Заведующий кафедрой «Инженерных изысканий и геоэкологии»

Доктор геолого-минералогических наук, профессор

E-mail: lavrusevich@yandex.ru

Минеральный состав современных просадочных отложений в основании строящейся автомобильной дороги А 289

Аннотация. Результаты минерального состава современных техногенных просадочных грунтов, выявленных при строительстве автомобильной дороги в Краснодарском Крае. Объектом исследования являются связные дисперсные грунты, сформировавшиеся на территориях выведенных из эксплуатации рисовых чеков, где за период эксплуатации в основании чеков образовались современные техногенные просадочные грунты, связанные с изменением гидрогеологических условий участка исследования в среде аридного климата, а также многокомпонентностью агромелиоративной системы. Исследован минеральный состав современных просадочных грунтов и проведен анализ участка исследования, как объекта агромелиорации.

Практический интерес исследования минерального состава грунтов заключается, в том, что при строительстве транспортной инфраструктуры или иных сооружений, зданий, коммуникаций на недействующих рисовых оросительных системах Краснодарского края или выведенных из эксплуатации, был проигнорирован тот факт, что процесс образования просадочных грунтов в условиях активного почвенного выветривания, изменения гидрогеологического режима подземных и поверхностных вод, химического состава подземных и поверхностных вод, а также существенного преобладания количества испаряемой

с поверхности земли влаги над количеством выпадающих осадков, протекает значительно быстрее, чем в природных системах грунтов.

Современные просадочные грунты можно отнести к техногенным геологическим телам, образовавшиеся в условиях агромелиорации участка исследования.

Ключевые слова: минеральный состав глинистых грунтов; связные дисперсные грунты; просадочность; изоморфизм глинистых минералов; современные техногенные отложения агромелиоративных тел; техногенные факторы развития просадочных грунтов; рисовая оросительная система; стратифицированные природно-техногенные геологические тела

Введение

Огромные площади Российской Федерации занимают просадочные и лессовидные грунты. В связи с постоянным ростом объемов строительства осваиваются все новые и новые территории, на которых приходится сталкиваться со значительными проблемами, связанными с просадочными грунтами, которые требуют, как экономического пересмотра параметров объекта строительства, так и с дополнительными затратами, сдвигающими сроки ввода в эксплуатацию на неопределенный период. Территория Российской Федерации по разным источникам поражена процессом просадочности более 30 %.

Актуальность исследования: в рамках строительства автомобильной дороги были выявлены ареалы распространения просадочных грунтов при проведении планировочных объемно-земляных работ по устройству грунтового основания под автодорожную насыпь. Просадочные грунты не выбирались на полную глубину в силу незначительной их мощности.

В рамках объемно-планировочных земляных работ при снятии почвенно-растительного слоя были вскрыты современные техногенные просадочные грунты. В следствие аномальных осадков данные грунты были замочены. В последствие при выполнении строительно-монтажных работ был выполнен песчаный пригруз для ускорения консолидации грунтов основания. Для оценки результатов принятого решения циклично ведется геотехнический мониторинг для определения деформаций осадки автомобильной дороги. На сегодняшний момент осадка насыпи автомобильной дороги стабилизирована и не превышает 1 мм в месяц¹, в следствие чего можно судить о деградации свойств просадочности данных грунтов в основании автомобильной дороги.

Объектом исследования являются современные просадочные грунты, слагающие основания недействующей рисовой оросительной системы совхоза Краснооктябрьского, где в рамках развития дорожной сети Краснодарского края происходит строительство автомобильной дороги А 289.

Участок проектируемой автомобильной дороги ПК 985 — ПК 1043 проходит по участку рисовой оросительной системы, выведенной из эксплуатации. Мелиоративная рисовая система была построена в 1970 годах. С момента её ввода в эксплуатацию она встала на баланс АО «Кубаньмелиоводхоз». Капитального ремонта каналов и рисовых чеков с момента ввода в эксплуатацию не проводилось. Данная мелиоративная система относится к IV классу гидротехнических сооружений. На момент производства инженерно-геологических изысканий

¹ Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте: «Строительство и реконструкция автомобильной дороги А-289 Краснодар-Славянск-на-Кубани-Темрюк-автомобильная дорога А-290 Новороссийск-Керчь» для стадии Рабочая документация, 2022 г.

рисовые чеки на ПК 985 — ПК 1043 не действовали более 20 лет и были выведены из эксплуатации.

Территория участка исследования располагается в пределах Кубано-Приазовской низменности. В геоморфологическом отношении участок изысканий относится к плоской равнине, сложенной частично речными наносами, а также лиманами.

В этой части Краснодарского края (район Станицы Варениковской) находится множество больших и малых лиманов, ериков и каналов. Вода в лиманах насыщена хлоридными и сульфатно-хлоридными солями.

Климат Кубано-Приазовской низменности умеренно континентальный, с недостаточным увлажнением.

Кубано-Приазовская равнина — низменная аллювиальная равнина с обширными поймами, простирается от долины реки Кубань до Азовского моря и северной границы края. Уклон равнины — в северо-западном направлении.

Преобладающие формы рельефа — сухие русла и прирусловые гряды бывших ериков, междугрядовые понижения.

Абсолютные отметки участка изысканий составляют -0,44 и до 1,00 м БС. Участок имеет слабонаклоненный равнинный рельеф.

На территории Краснодарского края широко развиты процессы просадочности и относятся к лессовидным грунтам, распространенным на равнинной части края. Наибольшие значения относительной просадочности характерны для лессов, покрывающих обширные плоские водоразделы, их склоны, поверхность высоких террас и пойм. Просадки разделяются на естественные, происходящие при естественном увлажнении, и техногенные, возникающие вследствие хозяйственной деятельности человека.

Современные аллювиально-лиманские глинистые отложения образуются постоянными водными потоками с образованием пойменных и надпойменных террас. По условиям накопления просадочные грунты относятся к пойменной фации. Четвертичные глинистые грунты на объекте строительства обладают значительной мощностью и однородностью. Данная информация свидетельствует о значительной мощности водных потоков, участвующих в их формировании. Стоит отметить, что именно современные аллювиально-лиманские отложения были антропогенно преобразованы в современные техногенные геологические тела.

Основными механизмами образования современных техногенных геологических тел на участке исследования в границах Совхоза Краснооктябрьский являются: механическая трансформация техногенных тел, физическая трансформация техногенных тел, химическая трансформация техногенных тел [1].

На участке исследования активно протекают процессы физического и химического выветривания, с которыми агро-комплексные предприятия пытаются бороться посредством посадки лесополос вдоль возделываемых полей, а также уменьшением содержания солей в почвах и массивах воды, используемых для агромелиорации.

Среди особенностей рисовых почвогрунтов стоит отметить их антропогенную преобразованность их профиля. В процессе строительства рисовых систем проводились капитальные планировки, т. е. искусственное преобразование рельефа, сопровождавшееся перемещением значительных масс почвогрунтов. Срезка массивов почв, в т. ч. плодородных, и грунтов естественного залегания на повышениях и засыпка понижений в процессе нивелировки поверхности существенно изменили исходное морфологическое строение большинства почв. Строительство рисовых систем сивелировало естественные элементы мезо- и микрорельефа.

Большинство мелких грив, имеющих широкое распространение срезано, а понижений засыпано при планировочных работах. Однако элементы макрорельефа в определенной мере сохранились: плоские обширные депрессии сохранили свои минимальные отметки местности, а на местах прирусловых валов-ериков выявляются наиболее высокие чеки. Обычно выделяются следующие категории чеков, высотное различие которых составляет 0,25–0,5 м: высокие, средневысокие, средние, низкие и очень низкие чеки.

В 1965 г. свою классификацию лёссовых пород, основанную на генетическом принципе, предложил Н.И. Кригер. Его классификация отличается широтой охвата, подробностью и основательностью. В ней учитываются условия формирования пород в процессе их седиментации и эпигенеза. При этом для простоты классификации Н.И. Кригером не выделяются полигенетические типы лёссовых пород, имеющие признаки различного происхождения. Н.И. Кригер выделил 3 группы лёссовых пород: лёсс (являющийся исключительно ископаемым образованием), ископаемые и современные лёссовидные отложения.

В соответствии с классификацией лёссовых пород по Н.И. Кригеру, 1965, современные просадочные грунты относятся к аллювиальному генезису, лёссовидные суглинки и супеси пойм, пересыхающих водоёмов и пр. [2].

Участок исследования относится к аллювиальной гипотезе образования лёссовых пород. В силу значительного изменения гидрогеологического режима, химических свойств грунтовых и поверхностных вод, при непосредственном участии климатических особенностей участка исследования, а также объемно-планировочных решениях при создании рисовой оросительной системы, все это в совокупности факторов, преобразовало верхнюю часть разреза аллювиальных отложений в так называемую подсушенную «корку» в основании чаш рисовых чеков, оросительных каналов и грунтов природного сложения. Данные грунты необходимо стратифицировать, как природно-техногенные агромелиоративные геологические тела. Стоит отметить, что при создании рисовой оросительной системы, аллювиальные суглинистые грунты основания уплотняли, что привело к серьезному нарушению, а местами и к полному отсутствию дренирования поверхностных вод и первого от поверхности четвертичного аллювиального водоносного горизонта в рисовых чеках и в основании каналов. Также интересен тот факт, что ареалы по мощности развития просадочных свойств грунтов схожи в интервале ПК 985 — ПК 1043 строящейся автомобильной дороги А-289. Ареалы просадочности суглинистых грунтов носят островной характер, а не выдержанный по простиранию залеганию грунтов в основании рисовых чеков. Просадочные грунты слагают основание рисовой оросительной системы, что подтверждает их структурное образование в рамках строительства и эксплуатации агромелиосистем.

Рисовая оросительная система на ПК 985 — ПК 1043 не действует с 1996 г., так как земляные валы требовали капитального ремонта и были выведены из эксплуатации посредством отключения от общей оросительной системы. С 1996 по 2000 год производились работы по капитальному ремонту валов, которые так и не завершились вводом в эксплуатацию рисовых чеков. Далее данные территории использовались для выращивания суходольных культур, которые привели к уменьшению природной влажности нижележащих глинистых грунтов. В период с 2000 по 2023 год данные грунты в условиях аридного климата, а также присутствующего перекрывающего с дневной поверхности связанного почвенно-растительного слоя привело к образованию зоны грунтов с недостаточным увлажнением. Вследствие этого за промежуток времени более 20 лет под воздействием внешних и внутренних протекающих процессов в массиве связных грунтов образовались карбонатные скелеты остатков органических веществ. Стоит отметить, что при исследовании грунтов с 2019 года по 2021 год природная влажность просадочных грунтов после снятия

почвенно-растительного слоя увеличилась в 2 раза с 10,3–11,3 % на ПК 995 и ПК 1027 (2019 год, глубины 1,3–1,7 м) и до 21,2–21,6 % (2021 год, глубины 1,3–1,7 м).

Гидрографическую сеть участка исследования образуют лиманы, озера и искусственные водоемы, а также р. Кубань и р. Протока с дельтовыми плавнями, некоторые другие малые реки и временные водотоки, заливные рисовые поля, системы оросительных каналов.

Кубанские лиманы — это мелководные, но достаточно крупные водоемы, созданные деятельностью Азовского и Черного морей и р. Кубани.

Причерноморские лиманы все соленые, а приазовские — пресные, но они постепенно осолоняются морской водой, нагоняемой ветром. Соленость воды в лиманах — величина не постоянная и зависит от характера связи с рекой и морем.

Реки бассейна Азово-Кубанской низменности (степные) в основном текут в северо-западном направлении и впадают в Азовское море. У степных рек края низкие берега, неглубокие речные долины, спокойное течение. Большая часть стока этих рек зарегулирована.

Реки Краснодарского края осуществляют значительную геологическую работу. Большая часть из них характеризуется высокими скоростями течения, быстрым подъемом воды, а также значительной зарегулированностью в силу крупномасштабного аграрного освоения района исследования.

Речная сеть района представлена рекой Кубань. Река Кубань является важнейшей водной артерией Краснодарского края, имеет многочисленные левобережные притоки. Площадь бассейна Кубани 57,9 тыс. км. От Кубани в пределах дельты отходит много рукавов и проток, которые, блуждая по плавням, вливаются в Азовское. Ширина р. Кубань 100–150 м, глубина 2,5–5,0 м, скорость течения 0,6 м/сек. Берега реки низкие. Пойма заболочена, поросшая камышом (тростником и местами рогозом). Дно русла илистое и вязкое. Плавни дельты, образовавшиеся от разливов рек и от скопления осадков в низменных местах заросли камышом, и многие из них в летнюю жару пересыхают.

Питание речной сети осуществляется за счет атмосферных осадков и за счет подземных вод. Поэтому весной и во время затяжных и ливневых дождей временные водотоки оживают, а реки становятся полноводными, заполняя водой пересохшие плавни.

Современная дельта реки Кубани является естественным аккумулятором солей, что привело к широкому распространению засоленных почв в данном регионе. Это предопределило сооружение рисовых оросительных систем (РОС) в Краснодарском крае, поскольку рис является фитомелиорантом для засоленных почв и важнейшей продовольственной зерновой культурой [3]. В 1996–2001 гг. рисоводство края испытывало серьезные трудности. Существенное улучшение в отрасли начало наблюдаться с 1999 г. под влиянием интенсивной эксплуатации рисовых оросительных систем различных конструкций. Однако длительное использование агромелиорируемых земель привело к изменению солевого режима почв дельты Кубани, что способствовало нарушению экологической безопасности водных бассейнов реки Кубань, Азовского моря и агроландшафтов рисоводческих зон.

Изучение почв дельты реки Кубани началось фактически только в послереволюционный период. Наиболее же интенсивно изучение этих почв проводилось в годы организации коллективных хозяйств и совхозов на Кубани. Впервые на засоленность некоторых почв Закубанских плавней указал профессор В.С. Богдан [4]. Он отмечал некоторую солонцеватость плавнево-луговых почв в районах станиц Троицкой и Мингрельской. В.С. Богдан связывал ее с близостью грунтовых вод [5].

Основной особенностью рисовых чеков является их водный и воздушный режимы. В теплый период года, с мая по сентябрь, на рисовых полях искусственно создается болотный режим [6]. В условия затопления в почвах и аллювиальных грунтах основания рисовой оросительной системы окислительные процессы из-за недостатка кислорода сменяются восстановительными. Стоит отметить, что в недействующих десятилетиями рисовых чеках на участке ПК 985 — ПК 1043 дороги А-289 окислительные процессы протекают значительно быстрее и агрессивнее по отношению к почвам и грунтам, нежели в постоянно действующей рисовой системе.

При ежегодном возделывании риса, обнаруживается явная тенденция к возрастанию суммы недоокисленных продуктов, в том числе и двухвалентного железа, к началу вегетации. Значительная часть веществ (двухвалентное железо, сероводород, метан и др.), появившиеся в почве вследствие преобладания восстановительных процессов, токсичны для риса, что приводит к снижению его урожайности. При постоянном использовании почв под рис, независимо от исходного генезиса почв и типов рисовых карт, на 3–4 год значительно падает урожайность. Запасов кислорода в рисовой почве, создаваемого во вневегетационный период (октябрь-апрель), недостаточно для преобладания аэробных процессов в последующем вегетационном периоде. Для борьбы с этим явлением применяется рисовый севооборот, предусматривающий периодическую смену посевов риса (после 2–3 лет) и сопутствующих незатапливаемых культур (в основном люцерны в течение 2 лет) [5].

В почвах и грунтах гидроморфного генезиса, сформировавшихся на аллювиальных отложениях, при длительном использовании под рис наблюдается существенное утяжеление гранулометрического состава — возрастает доля илистой фракции. Ведущей причиной этого процесса является принос в почву илистых частиц с поливной водой. Но не исключено изменение минералогического состава почв и грунтов вследствие внутрикристаллических процессов и появления минералов монтмориллонитовой группы. В черноземах и лугово-черноземных почвах, сформировавшихся на лессовидных отложениях, при использовании их под рис происходит значительное и необратимое изменение водно-физических свойств, резко уменьшается пористость и водопроницаемость, возрастает плотность и объемная масса. В подстилающих лессовидных отложениях происходят аналогичные процессы, они деградируют. Почвы и бывшие лессовидные отложения приобретают склонность к набуханию при переувлажнении и к трещиноватости при высушении. Это косвенные признаки изменения минералогического состава почв и грунтов, повышения в их составе доли минералов монтмориллонитовой группы; именно последние придают указанные ниже свойства почвам и подстилающим породам. Наиболее интенсивно эти изменения происходят в первые 4–6 лет использования почв под рис. В дальнейшем активность этих изменений затухает [5].

Грунтовые воды первого от поверхности, аллювиального водоносного горизонта залегают на глубине 2,0–4,5 м от уровня дневной поверхности, на абсолютных высотных отметках -2,8...-4,3 мБС. Установившийся уровень грунтовых вод составляет 2,0–4,5 м (абс. отм. -2,8...-4,3 м). Горизонт напорно-безнапорный, напор составляет до 0,5 м. Водовмещающими породами аллювиального водоносного горизонта являются аллювиальные (а-Q_{IV} и а-Q_{III}) и лимно-аллювиальные (la-Q_{IV}) пески, а также прослои и линзы песков в аллювиальных и лимно-аллювиальных суглинках и супесях. Нижним водоупором являются неогеновые отложения (N₂lm).

Абсолютные отметки первого от поверхности четвертичного аллювиального водоносного горизонта выдержаны по простиранию на значительных площадях Кубано-Приазовской низменности. Скорость фильтрации грунтовых вод четвертичного аллювиального водоносного горизонта низкая и по характеру питания можно отнести к

застойным. Стоит отметить, что зарегулированность поверхностных вод серьезно влияет на первый от поверхности четвертичный аллювиальный водоносный горизонт.

Питание грунтовых вод в пределах участка работ осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, вод орошаемых площадей, а также за счет вод нижележащих горизонтов и перетекания между ними в местах отсутствия выдержанных по простиранию аллювиальных суглинистых отложений. Разгрузка происходит, в основном, в р. Кубань. Значительная часть атмосферных осадков выпадает в осенне-зимний период. Стоит отметить, что оросительные каналы для заливания рисовых чеков в апреле наполняются за счет реки Кубань, за счет открытия затворов каналов и Тиховского гидроузла и в сентябре происходит спуск воды с рисовой оросительной системы. В сентябре уровень реки Кубань понижается до минимального, с целью сброса вод с оросительной системы. Вследствие вышесказанного коррозионная активность поверхностных вод является идентичной, что в оросительных каналах, что в реке Кубань.

По данным химического анализа вода гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная магниевое-кальциево-натриевая, с минерализацией 693–11945 мг/дм³. Согласно СП 28.13330.2012, вода по отношению к бетонам марок W4, W6, W8, W10-14, W16-20 и к железобетонным конструкциям не обладает агрессивными свойствами, при периодическом смачивании — от неагрессивной до сильноагрессивной.

Коррозионная активность воды по отношению к свинцовой оболочке кабеля — низкая, средняя и высокая, к алюминиевой — средняя и высокая.

Вследствие этого на основании данных по химическому анализу и минерализации грунтовых вод можно сделать вывод, что четвертичный аллювиальный водоносный горизонт обладает высокой агрессивностью к органическому веществу в массиве грунтов.

В среднем уровень воды в чеках с апреля по октябрь поддерживается на уровне 0,5 м. В период выращивания рисовых культур почвы в большом количестве обрабатываются, как минеральными удобрениями, так и пестицидами, которые в дальнейшем остаются в почвах, а те субстанции, которые выносятся с водными потоками после спуска рисовой оросительной системы осаждаются в почвах и грунтах [7]. Принимая во внимание все вышесказанное, грунтовые и поверхностные воды имеют высокую минерализацию.

Просадочные грунты засолены и представлены суглинком тяжелым, полутвердым, пылеватым, с примесью органического вещества, слабопросадочным и глиной легкой, твердой, пылеватой, с примесью органического вещества, слабопросадочной. Засоление суглинков тяжелых, полутвердых, пылеватых, с примесью органического вещества, слабопросадочных сульфатное и Dsal составляет 0,66 %, что в соответствии с таблицей Б.22 ГОСТ 25100-2020 классифицирует грунты как слабозасоленные, образец отобран из скважины, пройденной в рисовой оросительной системе на ПК 987 с глубины 1,8 м. Засоление глины легкой, твердой, пылеватой, с примесью органического вещества, слабопросадочной сульфатное и Dsal составляет 1,28 %, что в соответствии с таблицей Б.22 ГОСТ 25100-2020 классифицирует грунты как средnezасоленные, образец отобран из скважины РОС 344 с глубины 2,0 м.

Е.С. Блажний, первым источником накопления солей, приводящего к засолению почв дельты реки Кубани с последующим образованием засоленных почв, считает речные воды. В результате разлива этих вод соли поступают в грунтовые воды. После разливов вода застаивается в различных депрессиях, а при ее испарении на их днищах скапливается некоторое количество солей, приводящих к постепенному засолению почв. Вторым источником накопления солей и образования засоленных почв в дельте Кубани являются воды Азовского и отчасти (в районе Старокубанских плавней) Черного моря [8].

Е.В. Тонконоженко указывает, что в засолении грунтовых вод и последующим образованием солонцов на пойменной и надпойменной террасах и в части дельты, граничащей с коренными террасами, основная роль принадлежит слоям поверхностного и грунтового стока с высших террас и водоразделов, так как аллювиальные отложения реки Кубани и ее притоков, из которых развился современный почвенный покров террас, были пресными. Современные аллювиальные отложения реки Кубани также обычно несоленосны. В результате изучения динамики солевого состава засоленных почв в низовьях Кубани (1951–1954) Е.В. Тонконоженко, установил, что обогащение верхних слоев почвы слоями происходит в период летне-осеннего иссушения, когда в почве развиваются восходящие токи воды. В зимне-весенний период, когда в почве преобладает нисходящее передвижение влаги, происходит некоторое опреснение верхних горизонтов почв [9].

Принимая во внимание вышесказанное, можно судить об основополагающем влиянии химического состава реки Кубань, а в местах отсутствия водоупора гидравлически с ней связанного первого от поверхности аллювиального четвертичного водоносного горизонта, которые в совокупности факторов предопределяют минеральный состав просадочных грунтов, а также негативно влияют на засоление грунтов.

Цель исследования

Цели исследования — анализ полученных данных минерального состава современных техногенных просадочных грунтов в основании строящейся автомобильной дороги А 289.

Данные исследования позволят определить основные порообразующие минералы современных просадочных грунтов в основании автодорожной насыпи на ПК 985-1043, изучить и оценить влияние минерального состава на физические свойства данных грунтов, а также оценить протекания процесса внутрикристаллического набухания в массиве просадочных грунтов.

Методика исследования минерального состава просадочных грунтов

Для определения минерального состава (рентгенодифракционный анализ) отбирались бороздковые пробы навесками не менее 10 г, а также кубики грунтов размерами 3х3х3 см и были направлены на кафедру инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в количестве 7 проб за весь период исследований.

Пробоподготовка. Образцы истирались до состояния мелкой пудры и набивались в кюветы без использования прессования при постоянном контроле качества поверхности. Такая подготовка проб обеспечивает максимальную дезориентацию частиц в плоскости подложки, что необходимо для получения качественных дифракционных картин для расчета количественного минерального состава².

Оборудование и условия съемки. Рентгенодифракционный анализ порошковых препаратов проводился при помощи рентгеновского дифрактометра ULTIMA-IV фирмы Rigaku (Япония). Рабочий режим — 40 кВ, 40 мА, медное излучение, никелевый фильтр, диапазон измерений — $3-65^\circ 2\theta$, шаг по углу сканирования $0.02^\circ 2\theta$, фиксированная система фокусируемых щелей. Для ускорения съемки и повышения качества экспериментальных

² Крупская В.В., Закусин С.В., Шлыков В.Г. Определение состава грунтов методом рентгеновской дифрактометрии. Лабораторные работы по грунтоведению. / Под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королева // Изд. 3-е, перераб. и доп. — М., Изд-во «Высшая школа», 2017.

данных использовался полупроводниковый детектор нового поколения — DTex/Ultra: скорость сканирования — $3^{\circ} 2 \theta$ /минуту.

Диагностика и анализ. Диагностика минерального состава проводилась методом сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-2 в программном пакете Jade 6.5, компании MDI.

Количественный анализ. Количественный анализ осуществлялся методом полнопрофильной обработки рентгеновских картин от неориентированных препаратов по методу Ритвельда. В основе метода лежит сопоставление расчетных и экспериментальных значений интенсивностей дифракционных отражений, которые измеряются в определенных точках дифрактограммы, полученной при пошаговом сканировании³. В ходе анализа уточняются параметры элементарных ячеек всех фаз, содержащихся в смеси и определенных на предварительном этапе идентификации, а также координаты атомов каждой фазы. В результате сопоставления экспериментального и уточненного спектров рассчитывается весовое содержание фаз. Погрешность расчетов количественных содержаний по методу Ритвельда обычно принимается в 2–3 %. Ошибка определения складывается из ошибок расчета для каждой фазы и дается в весовых процентах. При этом, для отдельных фаз ошибка определений будет отличаться и может составлять от 0.5 до 5 % [10].

Результаты исследования

Стоит отметить, что просадочные грунты на ПК 985 — ПК 1043, вскрытые в рамках производства строительного-монтажных работ автомобильной дороги, относятся к II типу просадочности, так как просадка происходит под действием внешней нагрузки. Минимальная просадка от собственного веса 0,05 см (Скважины 987-2, 1010-1) и до 2,96 см (Скважина 1024-1). Суглинки в основном слабопросадочные, и единично среднепросадочные в соответствии с ГОСТ 25100-2020⁴.

Глинистые породы — полиминеральные системы, в состав которых могут входить более 30 различных минералов. Примерно 12–15 минералов относятся к числу основных породообразующих, содержание каждого из которых составляет не менее 3 %. Остальные минералы считаются акцессорными, т. е. рассматриваются как примеси, не оказывающие кардинального влияния на физико-механические свойства глинистых грунтов. По составу все минеральные образования, входящие в состав глинистых грунтов, подразделяются на три группы: неглинистые минералы, глинистые минералы и органическое вещество. Среди неглинистых минералов, входящих в состав глин, выделяются минералы аллотигенного и аутигенного происхождения. Объект исследования приурочен к Кубано-Приазовской низменности, вследствие чего могут быть минералы только аутигенного происхождения.

Аутигенное минералообразование идёт вследствие перенасыщения порового раствора глинистого осадка по отношению к той или иной соли и выпадение ее в осадок. Аутигенные глинистые минералы образуются во время осадконакопления или начальной стадии диагенеза непосредственно в осадке. Среди аутигенных минералов, формирующихся на стадии седиментогенеза и раннего диагенеза, следует отметить оксиды и гидрооксиды кремния, карбонаты, сульфаты, сульфиды. В основе аутигенного минералообразования лежит синтез глинистых минералов из поровых растворов, перенасыщенных растворенными элементами — продуктами выветривания, а также вод лиманов и озер аридной зоны (затопленные рисовые чеки), имеющих повышенное содержание растворенных солей. При этом наибольшее значение

³ Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов. — М.: Геоинформмарк, 2000. 292 с.

⁴ ГОСТ 25100-2000 Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. — М.: Стандартинформ. 2020. 41 с.

имеют не климатические, а физико-химические условия, определяющиеся составом вмещающих вод и поровых растворов.

Современные аллювиально-лиманные глинистые грунты образовались в условиях аридного климата, вследствие чего среда их формирования щелочная. Результаты $pH = 7,4$ современных глинистых аллювиально-лиманных отложений подтверждают вышесказанное.

Условия образования глинистых пород часто оказываются благоприятными для формирования различных аутигенных минералов. Среди них наиболее распространены простые соли: карбонаты, сульфаты, сульфиды, о чем свидетельствуют данные минерального состава.

Толща современных просадочных отложений, встреченная в рамках строительства автомобильной дороги, обладает незначительной мощностью, до 1,5 м, что позволяет в соответствии с классификацией В.Т. Трофимова отнести её к ациклитческому классу.

Результаты исследования минерального состава просадочных грунтов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Минеральный состав, масс. %

Образец	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3	Класс
Кварц	35.8	48.8	36.4	40.4	44.3	33.0	18.4	Силикаты
Плагиоклазы (Альбит)	16.8	20.0	15.4	16.9	16.1	12.3	11.5	
КПШ (Микроклин)	3.8	4.9	3.6	7.8	5.6	4.1	3.1	
Смектит	19.5	9.3	12.2	15.1	15.2	23.2	11.2	
Иллит	7.5	5.7	18.5	6.6	6.1	7.4	34.7	
Каолинит	4.5	3.3	4.7	2.6	3.2	5.0	10.4	
Хлорит	3.1	1.5	1.9	2.7	1.9	2.4	3.8	
Амфиболы	1.6	2.6	1.8	1.8	1.9	2.2	1.6	
Кальцит	7.0	3.3	4.4	5.5	5.3	10.2	4.9	
Анкерит	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.2	0.4	
Доломит	0.2	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Расположение образцов исследований	ПК 985		ПК 1005			ПК 1014		основание автомобильной дороги, глубина отбора 1,4 м, 1,6 м, 1,8 м (у образца 3 глубина отбора 1,6 м)

Составлено авторами

Исследования показали, что преобладающим минералом в составе грунтов является аутигенный неглинистый минерал — кварц. Процентное содержание от общей массы составляет от 18,4 % (обр. 3) и до 48,8 % (обр. 1.2). Это объясняется каркасным строением его кристаллической решетки и полной сбалансированностью валентных связей. Кристаллы кварца имеют высокую прочность и химическую устойчивость.

Отдельные пылеватые частицы исследуемых просадочных грунтов имеют следующее строение, определенное исходя из минерального состава и исследований А.А. Минервина и Н.Н. Комиссаровой [11]: ядро кварца размерами до 0,1 мм, поверхность ядра окружена аморфным гелем SiO_2 и частично разрушенной кальцитово́й оболочки, поверх которой размещается глинистая «рубашка», представленная глинистыми минералами, относящимися к группе слоистых и силикатов⁵.

⁵Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика. — М.: Издательство «КДУ», 2009 г. — 440 с.

Смектит, глинистый минерал, относящийся по типу к слоистым силикатам, класс силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 9,3 % (обр. 1.2) и до 23,2 % (обр. 2.3).

Иллит, глинистый минерал, относящийся по типу к листовым силикатам, класса силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 5,7 % (обр. 1.2) и до 34,7 % (обр. 3).

Каолинит, глинистый минерал, относящийся по типу к слоистым силикатам, класс силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 2,6 % (обр. 2.1) и до 5,0 % (обр. 2.3).

Хлорит, акцессорный глинистый минерал, относящийся по типу к слоистым силикатам, класс силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 2,6 % (обр. 2.1) и до 5,0 % (обр. 2.3).

Строение структурного слоя — важнейший классификационный признак глинистых минералов. В зависимости от его строения выделяют несколько типов глинистых минералов минералы со структурным слоем типа 1:1, 2:1, 2:1:1. В исследуемых образцах это названия групп: каолинит (тип 1:1), смектит, гидрослюда (иллит) (тип 2:1), хлорит (тип 2:1:1) [12].

Одна из особенностей глинистых минералов — широкое развитие у них явления изоморфизма. Под *изоморфизмом* понимается замещение в кристаллической решетке минералов одних катионов другими близкими по размеру. При этом тип кристаллической структуры минерала остается прежним, а изменяются только их химический состав и свойства. Наиболее развит изоморфизм у минералов групп смектитов и хлоритов, и наименее развит изоморфизм у групп минералов гидрослюдов и каолинитов [13].

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 1.1 составляет 34,6 % от общего минерального состава образца.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 1.2 составляет 19,8 % от общего минерального состава образца.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 1.3 составляет 37,3 % от общего минерального состава образца.

Среднее содержание глинистых минералов в исследуемом образце 1 на ПК 985 составляет 30,6 % от общего минерального состава образцов 1.1, 1.2, 1.3.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 2.1 составляет 27,0 % от общего минерального состава образца.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 2.2 составляет 26,4 % от общего минерального состава образца.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 2.3 составляет 38,0 % от общего минерального состава образца.

Среднее содержание глинистых минералов в исследуемом образце 2 на ПК 1005 составляет 30,5 % от общего минерального состава образцов 2.1, 2.2, 2.3.

Суммарное содержание глинистых минералов в исследуемом образце 3 составляет 60,1 % от общего минерального состава образца.

Среднее содержание глинистых минералов в исследуемом образце 3 на ПК 1014 составляет 60,1 % от общего минерального состава образца 3.

Альбит, неглинистый минерал, относящийся по типу к каркасным силикатам, класс силикаты. Далее по преобладанию массового содержания идут аутигенные плагиоклазы Альбит. Процентное содержание от общей массы составляет от 11,5 % (обр. 3) до 20,0 % (обр. 1.2). Менее устойчивы к выветриванию, чем микроклин. Снижение прочности связано с повышенной подвижностью катионов и способствует более быстрому выщелачиванию и химическому разрушению минералов. В процессе выветривания практически полностью разрушаются.

Калиналовый полевой шпат (микроклин), неглинистый минерал, относящийся по типу к каркасным силикатам, класс силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 3,1 % (обр. 3) и до 7,8 % (обр. 2.1). Менее устойчивы к выветриванию, чем кварц. Снижение прочности связано с изоморфными замещениями и наличием в их структурах «вторгнутых» катионов, компенсирующих недостаток отрицательного заряда. Повышенная подвижность этих катионов и их участие в реакциях гидролиза способствует более быстрому выщелачиванию и химическому разрушению минералов.

Амфиболы, акцессорный неглинистый минерал, относящийся по типу к ленточным силикатам, класс силикаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 1,6 % (обр. 1.1) и до 2,6 % (обр. 1.2). Менее устойчивы к выветриванию, чем микроклин. В процессе выветривания практически полностью разрушаются.

Кальцит, неглинистый минерал, относящийся к классу карбонаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 3,3 % (обр. 1.2) и до 10,2 % (обр. 2.3).

Анкерит, акцессорный неглинистый минерал, относящийся к классу карбонаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 0,2 % (обр. 1.1 и 2.3) и до 0,6 % (обр. 2.1).

Доломит, акцессорный неглинистый минерал, относящийся к классу карбонаты. Процентное содержание от общей массы составляет от 0,2 % (обр. 1.1 и 1.2) и до 0,7 % (обр. 1.3).

Минералы смектитовой группы способны адсорбировать молекулы воды в межслоном пространстве и увеличивать расстояние структурного слоя. Гидратация внутренних базальных поверхностей приводит к снижению плотности глинистых минералов, увеличению объема адсорбированной ими воды, изменению физических свойств [12]. Низкие показатели характеристик плотности просадочных глинистых грунтов на ПК 985-1043, есть нечто иное, как процесс активного протекания внутрикристаллического набухания.

В соответствии с разделением смектитов по структурным и физико-химическим показателям на исследуемых образцах можно сказать, что количество разбухающих слоёв, в % соотношении составляет 90–100 % от общего количества слоёв [14]. Способность к внутрикристаллическому набуханию, и главное чрезвычайно высокая дисперсность обуславливают высокую физико-химическую активность смектитов [13].

Выводы

Суммарный анализ содержания глинистых минералов (с учетом акцессорных минералов) по образцам показал, что их содержание варьируется от 19,8 % (обр. 1.2) и до 60,1 % (обр. 3). Исходя из полученных данных, преобладающим минералом является кварц, который достаточно устойчив к процессу выветривания и физико-химическим процессам, происходящим в аридном климате при определенных условиях формирования щелочных поровых растворов, соответственно, вышеуказанные параметры позволяют сделать предположение, что в формировании просадочных свойств глинистых грунтов, решающую

роль играет комплекс глинистых минералов, таких как смектиты, каолиниты, гидрослюды и хлориты. Низкие показатели характеристик плотности просадочных глинистых грунтов на ПК 985 — ПК 1043 являются показателями процесса активного протекания внутрикристаллического набухания.

Первоначально участок исследования не подтоплен. При планировочных земляных работах был снят почвенно-растительный слой и участок исследования весь весенне-летне-осенний находился в благоприятном для физического, химического выветривания состоянии. Минералы микроклина, альбита и амфиболов практически неустойчивы к выветриванию. В следствие чего можно предположить, что кровля массива просадочных грунтов первоначально подверглась процессам выветривания, а уж затем повысилась природная влажность грунтов в силу начавшихся аномальных осадков и отсутствия системы водоотведения с участка.

В силу обводнения массива просадочных грунтов вследствие аномальных осадков и снятого почвенно-растительного слоя коэффициент водонасыщения грунтов повысился. Вследствие этого произошло разрушение природных структурных связей в грунте и переориентация его частиц. Стоит отметить, что в основании тела автодорожной насыпи сформировались ареалы переуплотненных грунтов с новыми структурными связями в грунтах. Также произошло растворение кальцитовых оболочек, поверх которой размещается глинистая «рубашка», представленная глинистыми минералами, и уменьшилась вязкость аморфного геля SiO_2 , вследствие этого нарушилось структурное строение пылевой частицы просадочного грунта. Все вышесказанное подтверждает теорию об активном протекании изоморфизма в современных просадочных грунтах, свойства которых трансформировались также отчасти от антропогенного воздействия в природную грунтовую систему (изменение геологических, гидрогеологических условий). Принимая во внимание, что на ПК 985 — ПК 1043 строящейся автомобильной дороги высота насыпи варьируется от 6,0 м и до 9,0 м, а также высоту пригрузки, составляющую 2,0 м, то при таком бытовом давлении от автомобильной дороги на маломощный массив обводненных просадочных грунтов, происходит капиллярное отжатие воды из массива грунтов, с взвешенными карбонатными и глинистыми частицами, а содержание в исследуемом образце 3 составляет 60,1 % содержания глинистых минералов от общего минерального состава образца, вследствие этого можно сделать вывод об уплотнении массива просадочных грунтов и завершении процесса просадочности массива. Необходимо добавить, что эпюры напряжений, распространяющиеся от тела автодорожной насыпи, носят наибольший характер деформаций только в контурах самой насыпи, за границами насыпи эпюры напряжений в массиве грунтов затухают, вследствие чего капиллярное отжатие воды из массива грунтов происходит в зону свободную от напряжений насыпи, то есть за её контурами. Стоит отметить, что при отжатии воды из массива, происходит серьезная активизация процесса изоморфизма, так как зерна кварца потеряли предыдущее структурное строение пылевой частицы и стремятся создать новые структурные связи анионов и катионов в грунтовом массиве, что приводит к формированию новой структурной решетки грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суздалева А.Л. Вторая геология — наука о техногенных телах литосферы: монография — М.: РадиоСофт, 2022. — 584 с.
2. Кригер Н.И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965. 295 с.

3. Тюремнов С.И. Краткий очерк природных условий сельского хозяйства Кубанского округа / С.И. Тюремнов. — Краснодар, 1926. 48 с.
4. Богдан В.С. Закубанские плавни в почвенно-ботаническом и мелиоративном отношениях / В.С. Богдан, В.А. Шумаков // Тр. / Кубань. СХИ. — 1925. — Т. 3. — С. 15–69.
5. Осипов А.В. Изменение свойств и солевого режима рисовых почв современной дельты реки Кубани: монография / А.В. Осипов; под общ. ред. В.Н. Слюсарева. — Краснодар: КубГАУ, 2016. — 131 с.
6. Влияние рисосеяния на физико-химические свойства солонцовых почв Северного Кавказа / В.П. Бобков, Е.Н. Будько, И.А. Королёв // Мелиорация солонцов. — М., 1972. — Ч. 2. — С. 349–360.
7. Драгунова С.М. Проблемы экосистемного водопользования на водозаборах нижней Кубани / С.М. Драгунова, В.В. Данилов, Н.Н. Крылова // Экология речных ландшафтов: сб. ст. по материалам II Междунар. Конф. / отв. за вып. Н.Н. Мамась. — Краснодар: КубГАУ, 2018. С. 73–74.
8. Блажний Е.С. Грунтовые воды в низовьях Кубани как фактор засоления и заболачивания почв / Е.С. Блажний // Тр. / Кубан. СХИ. — 1958. — Вып. 4(32). — С. 169–193.
9. Тонконоженко Е.В. Засоленные почвы дельты реки Кубани и изменение их свойств при окультуривании / Е.В. Тонконоженко, Р.Ф. Аль-Шайеб // Почвоведение. — 1979. — № 6. — С. 136–144.
10. Bish D.L. and Post J.E. Quantitative mineralogical analysis using the Rietveld full-pattern fitting method. *American Mineralogist*. 1993. 78, P. 932–940.
11. Минервин А.В., Комисарова Н.Н. Природа просадочности лессовых пород // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. — М.: Издательство МГУ, 1983. Вып. 5. С. 16–31.
12. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств — М.: ГЕОС. 2013. 576 с.
13. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т. Трофимова. — 6-е изд., переработ. и доп. Грунтоведение — М.: Издательство МГУ, 2005. — 1024 с.
14. Шлыков В.Г. Использование структурных характеристик глинистых минералов для оценки физико-химических свойств дисперсных грунтов // Геоэкология. 2000. № 1. С. 43–52.

Gerasimov Alexander Yur'evich

LLC «Giprostroymost-Geotech», Moscow, Russia
National Research University Moscow State Construction University, Moscow, Russia
E-mail: alexandergerasimovmo@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6784-924X>

Lavrusevich Andrey Aleksandrovich

National Research University Moscow State Construction University, Moscow, Russia
E-mail: lavrusevich@yandex.ru

Mineral composition of modern subsidence sediments at the base of the road A 289 under construction

Abstract. The authors present the results of the mineral composition of modern man-made subsidence soils identified during the construction of a road in the Krasnodar Territory. The subject of the research is cohesive disperse soils formed on the territories of decommissioned rice bays where during the period of operation modern technogenic subsidence soils have formed in the base of the bays, associated with changes in the hydrogeological conditions of the study area in an arid climate, as well as multi-component agromeliorative system. The mineral composition of modern subsidence soils was investigated and the analysis of the study site as an object of agro-reclamation was carried out.

Practical interest of research of a mineral structure of soils consists, that at building of a transport infrastructure or other constructions, buildings, communications on not working rice irrigation systems of Krasnodar territory or decommissioned, the fact that process of formation of the subsiding grounds in the conditions of active soil weathering, changes of a hydrogeological mode of underground and surface waters, chemical composition of underground and surface waters, and the significant predominance of moisture evaporating from the ground surface over precipitation, proceeds much faster than in natural soil systems.

Modern subsidence soils can be attributed to technogenic geological bodies, formed under conditions of agromelioration of the study area.

Keywords: mineral structure of clay soils; cohesive disperse soils; subsidence; isomorphism of clay minerals; modern technogenic deposits of agromeliorative bodies; technogenic factors of development of subsident soils; rice irrigation system; stratified natural and technogenic geological bodies